

WSP SVERIGE / HEIDELBERG MATERIALS CEMENT SVERIGE

# TTEM-UNDERSÖKNING MED SAMTOLKNING MED SKYTEM OCH GEOLOGISK MODELL SLITE, GOTLAND

APRIL 2023



PROJEKTNUMMER.: DK-22001822 SE10330449  
HANDLÄGGARE:  
DANIEL JUUL OKHOLM, JOHANNE JAGER JENSEN (WSP)  
FLEMMING JØRGENSEN (FJ CONSULT)  
UPPDRAGSLEDARE: ANDERS EDSÉN (WSP)  
GRANSKAD AV: ANDERS EDSÉN, BO BERGMAN (WSP) (WSP)  
GODKÄND AV: JAKOB ENG (WSP)

TTEM-KARTLÄGGNING, TOLKNING MED SKYTEM OCH GEOLOGISK MODELL, SLITE, GOTLAND  
PROJEKT NR: 22001822  
KUND: WSP SVERIGE / HEIDELBERG MATERIALS CEMENT SVERIGE

WSP DANMARK A/S  
09-04-2023



# INNEHÅLL

1	INLEDNING .....	1
2	GEOFYSISK UNDERSÖKNING MED TTEM- METODEN .....	2
3	DATAINSAMLING, BEARBETNING OCH INVERSION .....	3
3.1	Bearbetning och inversion, ttem data .....	4
3.2	Bearbetning och inversion, SkyTEM-data .....	6
4	PRESENTATION AV GEOFYSISKA RESULTAT ..	10
5	GEOLOGISK TOLKNING OCH GEOLOGISK MODELL .....	11
5.1	Befintlig geologisk 3D-modell .....	11
5.2	Geologiska tolkningar av tTEM .....	11
5.3	Geologisk modell .....	15
6	REFERENSER .....	21

**TABELLER**

TABELL 1 INSTÄLLNINGAR FÖR INVERSION AV TTEM-DATA..... **ERROR!  
BOOKMARK NOT DEFINED.**

TABELL 2 INSTÄLLNINGAR SOM ANVÄNDS VID FRAMSTÄLLNING  
AV TTEM-MEDELMOTSTÅNDSKARTOR ..... **ERROR!  
BOOKMARK NOT DEFINED.**

TABELL 3 INSTÄLLNINGAR FÖR INVERSION AV SKYTEM-DATA. **ERROR!  
BOOKMARK NOT DEFINED.**

TABELL 4 INSTÄLLNINGAR SOM ANVÄNDS VID FRAMSTÄLLNING  
AV SKYTEM-MEDELMOTSTÅNDSKARTOR. .... **ERROR!  
BOOKMARK NOT DEFINED.**

**FIGURER**

FIGUR 1 - ÖVERSIKTSKARTA TTEM  
UNDERSÖKNINGSOMRÅDET.. **ERROR! BOOKMARK  
NOT DEFINED.**

FIGUR 2 - TTEM-SYSTEMET.....2

FIGUR 3 - ÖVERSIKTSKARTA TTEM-DATA.....3

FIGUR 4 ÖVERSIKTSKARTA GODKÄNDA DATA .....6

FIGUR 5 RESISTIVITETSMODELLER, TTEM OCH  
SKYTEM. ....8

FIGUR 6 KORRELATION GEOLOGI OCH RESISTIVITET .....10

FIGUR 7 UTVALD TTEM- OCH SKYTEM SEKTION. ....13

FIGUR 8 UTVALD TTEM OCH SKYTEM SEKTION .....14

FIGUR 9 UTVALD TTEM SEKTION MED TOLKAT LAGERYTOR.....15

FIGUR 10 UTVALD TTEM SEKTION MED TOLKAT LAGERYTOR.....16

FIGUR 11 MODELLERAD LAGERYTA FÖR BOTTEN AV  
REVARTAD KALKSTEN. ....17

FIGUR 12 MODELLERAD LAGERYTA FÖR ÖVERYTA AV  
ÖVRE MÄRGELLAGER.. ....18

FIGUR 15 MODELLERAD LAGERYTA FÖR BOTTEN AV  
ÖVRE MÄRGELLAGER. ....19



FIGUR 16 MODELLERAD LAGERYTA FÖR TOPPEN AV NEDRE MÄRGELSKIKTET.....	20
--	----

**BILAGOR**

- A 1) ÖVERSIKTSKARTA  
2) KVALITETSKARTOR, TTEM OCH SKYTEM
- B 1) MEDELMOTSTÅNDSKARTA, TTEM  
2) MEDELMOTSTÅNDSKARTA, SKYTEM
- C PROFILER, TTEM OCH SKYTEM
- D TTEM-SYSTEMINSTÄLLNINGAR

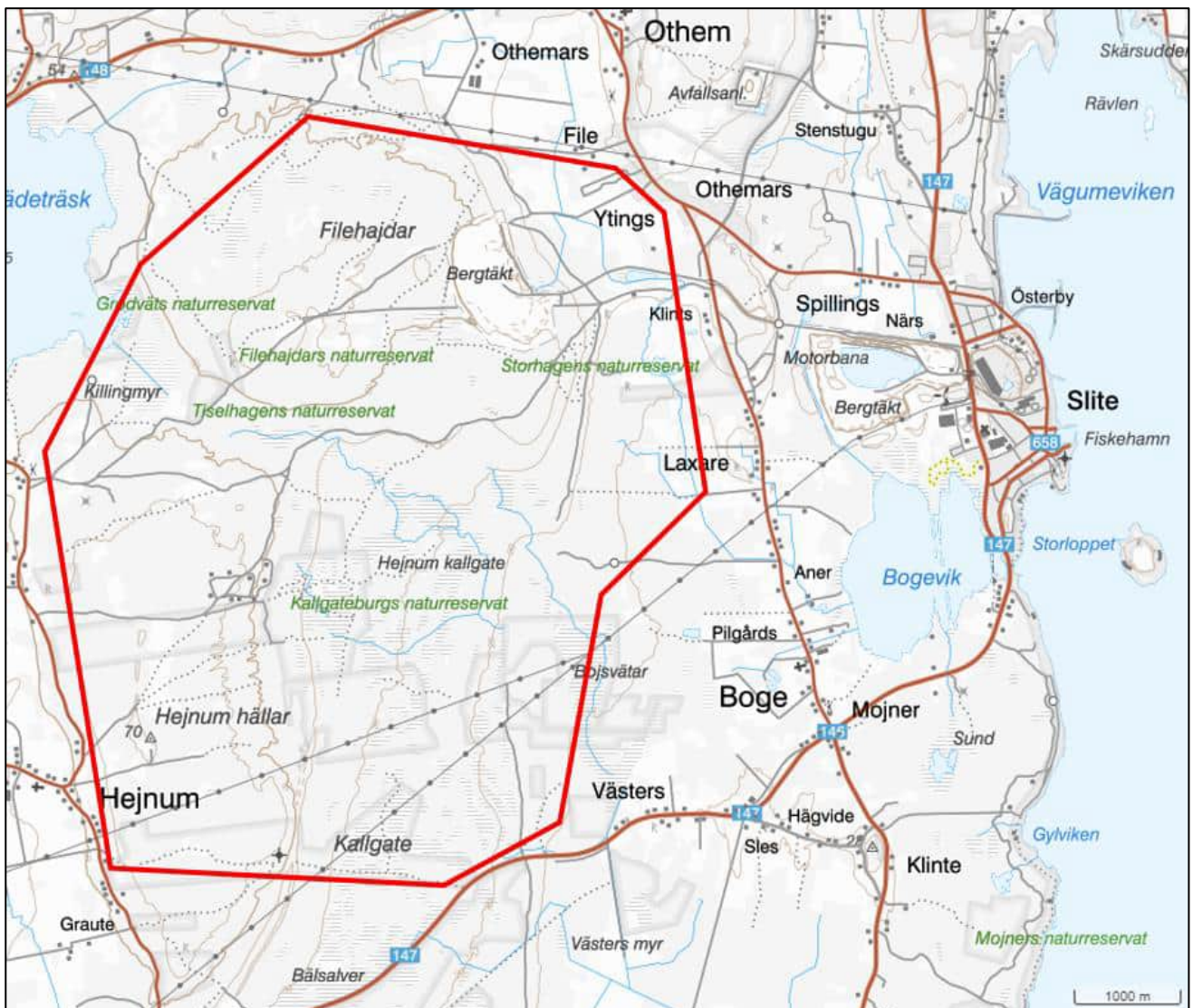


# 1 INLEDNING

På uppdrag av WSP Sverige och Heidelberg Materials Cement Sverige AB ("Heidelberg Materials") har WSP Danmark genomfört en geofysisk undersökning med metoden tTEM vid och omkring File hajdar, väster om Slite. Det ungefärliga undersökningsområdet visas i Figur 1.

Syftet med tTEM-undersökningen har varit att skapa ett dataunderlag för geologisk tolkning, inklusive en mer detaljerad tolkning av utbredningen av kalkstensformationer och mörkel i området. Som en del i denna tolkning har resultaten från tTEM-mätningen använts i en omtolkning av SkyTEM-data, som tidigare har samlats in i området. De geofysiska modellerna, som är baserade på både tTEM och SkyTEM, har använts som grund för att uppdatera den geologiska modellen för området.

Denna datarapport beskriver arbetet med insamling av tTEM-data med efterföljande bearbetning och samtolkning med SkyTEM-data och justering av den geologiska modellen.



Figur 1. Översiktskarta med undersökningsområdet för tTEM-mätningarna inom rödmarkerat område.

## 2 GEOFYSISK UNDERSÖKNING MED TTEM-METODEN

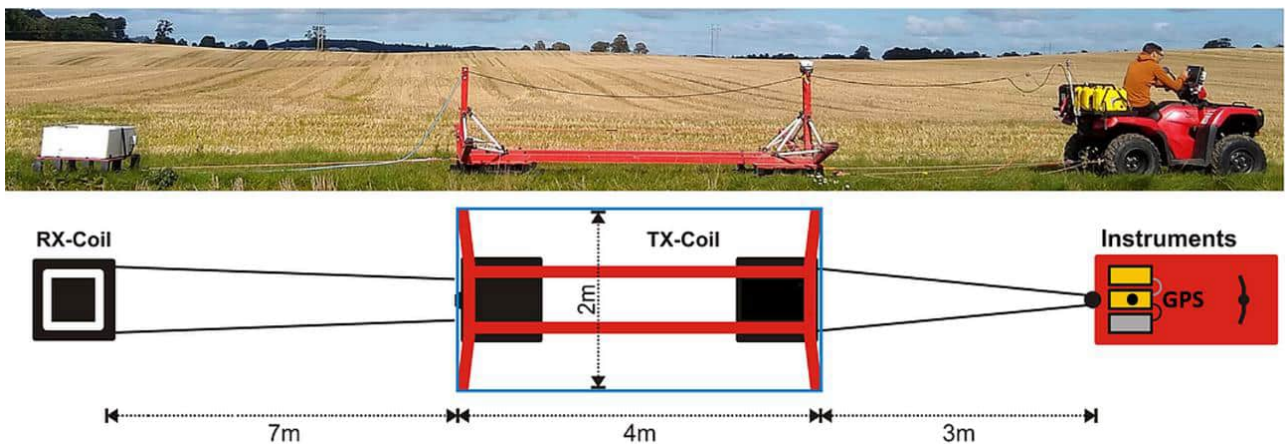
Information från en borrhning ger en mycket detaljerad bild av geologin i en punkt. Genom att komplettera med geofysiska undersökningar mellan borrhål kan man få fram en helhetsbild av markens uppbyggnad mellan borrhålen.

Med tTEM-metoden mäts jordlagrens elektriska motstånd, som sedan kan tolkas till information om geologiska lager. Metoden bygger på ett elektromagnetiskt mätsystem som utformats för geofysisk undersökning. Systemet består av två slädar, med två separata antenner, som dras av en fyrhjuling (se Figur 2). Datainsamlingen utförs kontinuerligt medan instrumentet dras över marken.

Systemet är mycket kompakt och mobilt. Data samlas in med en körhastighet på cirka 15 km/h och normalt uppnås ett undersökningsdjup mellan 50 och 80 m.

Metoden är känslig för störningar från högspänningskablar, metallstaket och andra metallinstallationer. Större störningskällor kan påverka mätningarna på ett avstånd upp till 50 meter. Detta innebär att mätningar normalt inte företas nära sådana störningskällor eller att störd data uppkommer i sådana områden som sedan får avlägsnas i den efterföljande databehandlingen.

tTEM-metoden beskrivs närmare i forskningsartiklar – se t.ex. Auken et al., 2019 och Sandersen et al., 2021.



**Figur 2. tTEM-systemet består av två antenner, placerade på två separata slädar, som dras av en fyrhjuling. Sändaren ("TX-coil") är placerad fram och mottagarantennen ("RX-coil") bak. Datainsamlingen sker med en GPS som är monterad på fyrhjulingen. (Figur: HGG, Aarhus universitet).**



# 3 DATAINSAMLING, BEARBETNING OCH INVERSION

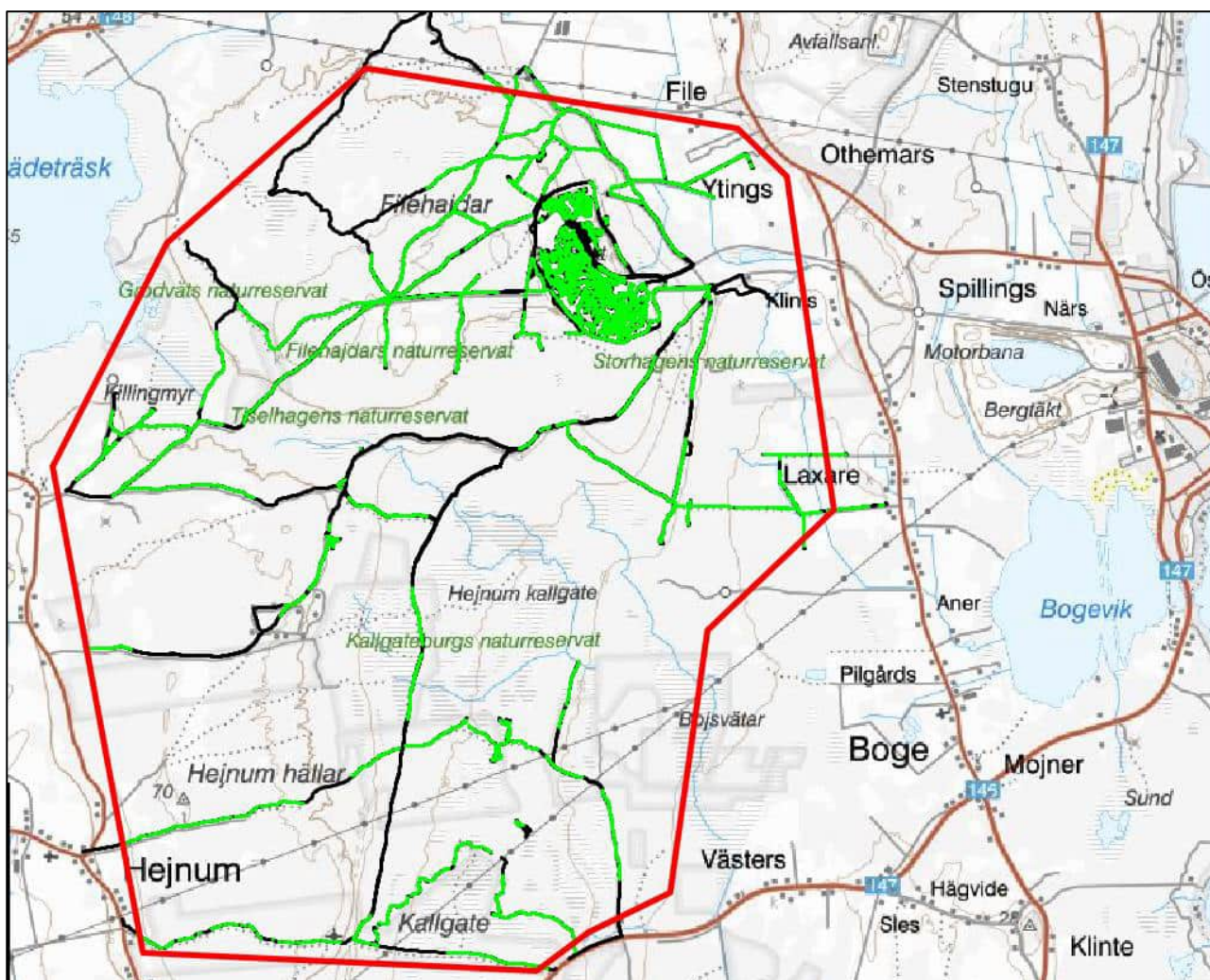
Omfattningen av utförda tTEM-mätningar visas i Figur 3 och i översiktskartan i Bilaga A1.

Undersökningsområdet inkluderar File hajdar-takten samt skogsmarker runt om takten. I skogsområdena har mätningar utförts längs tillgängliga stigar och grusvägar.

Datansamlingen genomfördes i en första omgång den 27, 28 och 29 september 2022.

För att säkerställa funktionen i tTEM-systemet kalibreras utrustningen både före och efter en datansamling. Kalibreringen sker vid den danska nationella kalibreringsplatsen väster om Århus. Efter mätningen, vid den upprepade kalibreringen, upptäcktes ett fel i systemet. Felet hade uppstått någon gång under datansamlingen på Gotland. Orsaken visade sig vara skador på mottagarantennen, där fukt hade trängt in, som hade en oacceptabel effekt på datakvaliteten i delar av data.

Datansamlingen återupptogs därför under perioden 1–4 november. Data från de båda mätomgångarna slogs sedan samman, i Figur 3 visas den totala mängden insamlad data.



Figur 3. Översiktskarta över insamlad tTEM-data. Uppmätta data markeras i svart. Data som bearbetats och godkänts för användning visas i grönt.

---

## 3.1 BEARBETNING OCH INVERSION, TTEM-DATA

Bearbetningen och inversion utfördes i programmet Aarhus Workbench version 6.7.1.0<sup>1</sup>.

Inledningsvis utfördes en manuell bearbetning av data, där datakvaliteten från mätningarna bedömdes vara tillräckligt god för att kunna användas för vidare databehandling.

Därefter avlägsnades data med en oacceptabelt hög störningsnivå. Data som störts av högspänningskablar, metallstaket eller andra stora metallföremål, sorterades också bort under bearbetningen. Dessutom sorterades data som mätts vid skarpa svängar bort eftersom systemet inte har korrekt geometri under dessa förhållanden och därför ger felaktiga data.

Efter bearbetningen har variationen i resistiviteten beräknats genom inversion av uppmätt data.

Bilaga A innehåller översiktsskator med en visualisering av var data samlats in och ett antal parametrar som illustrerar datakvaliteten (se Bilaga A2). I Bilaga A2 framgår följande:

- 1) Karta över modellpassning (dataresidual) mellan uppmätta data och den beräknade resistiviteten
- 2) Översiktsskarta över antalet datapunkter per sondering
- 3) Beräknat undersökningsdjup per sondering (Depth Of Investigation, DOI)

På kartan över modellpassningen (dataresidual), mellan uppmätt data och beräknad resistivitet, är den insamlade datan markerad med svarta punkter. Ovanpå dessa illustreras modellpassningen med färger beroende av vilken passning som uppnåts. Grön/gul motsvarar bra passning mellan beräknad resistivitet och modeller, orange/röd färg motsvarar en medium passning och lila/violett en något sämre passning. Noteras bör dock att modellpassningen bedömts som acceptabel eller bättre i samtliga fall.

I undersökningsområdet syns en tydlig variation i modellpassning. I den nordvästra delen av undersökningsområdet ses till exempel en betydligt sämre modellpassning än i den södra delen av undersökningsområdet. Orsaken till denna markanta skillnad kommer av markens resistivitetsfördelning. I den nordvästra delen av undersökningsområdet finns strukturer av revkalksten med mycket höga resistivitetsvärden. I den södra delen av undersökningsområdet förekommer inte sådan revkalksten i samma utsträckning. Höga resistivitetsvärden innebär att den mottagna signalen blir relativt svag och att signal-brusförhållandet därigenom minskas. Detta ger upphov till mer störningspåverkade data vilket ger en sämre modellpassning och data med en större osäkerhet.

Översiktsskartan, som visar antalet datapunkter per sondering, visar att antalet användbara datapunkter huvudsakligen är mellan 15 och 25. För varje sondering kan upp till 30 datapunkter användas. Det relativt låga antalet användbara datapunkter, i detta undersökningsområde, beror på ett lägre signal-brusförhållande som orsakats av den höga resistivitetsnivån som beskrivits ovan.

Det beräknade undersökningsdjupet (DOI) för tTEM-systemet beror, förutom på själva instrumentets egenskaper, också på områdets geologi och störningsnivån i området. Undersökningsdjupet varierar alltså från undersökning till undersökning, men ligger vanligtvis inom intervallet 50–80 m. I denna undersökning varierar undersökningsdjupet mellan 40 och 150 meter.

Inversionsinställningar, som används för invertering av tTEM-data, visas i Tabell 1. Som en del i inversionsprocessen fördelas marken in i lager ned till metodens maximala undersökningsdjup. För tTEM användes 35 lager. I Tabell 2 visas inställningar som använts vid framtagande av tTEM-medelmotståndskartor (kartor som visar inverterad resistivitet inom olika djupintervall (Bilaga B1 och B2)).

---

<sup>1</sup>Aarhus Workbench; programvara för bearbetning och inversion av elektriska och elektromagnetiska geofysiska data utvecklad av Aarhus Geosoftware / Seequent (<https://www.aarhusgeosoftware.dk/>)

**Tabell 1. Inställningar för inversion av tTEM-data.**

Typ av inversioner	Smooth, Spatial Constrained Inversion
Antal lager	35
Horisontella/vertikala band	Medel (1,3) / Medel (2,0)
Första/sista lagergräns	1,0 m / 150 m
Startvärde för resistivetsmodeller vid inversion	200 ohmm

**Tabell 2. Inställningar som använts för framtagande av tTEM-medelmotståndskartor.**

Sökradie	35 meter
Nodavstånd	10 meter
Griddningsmetod	Kriging



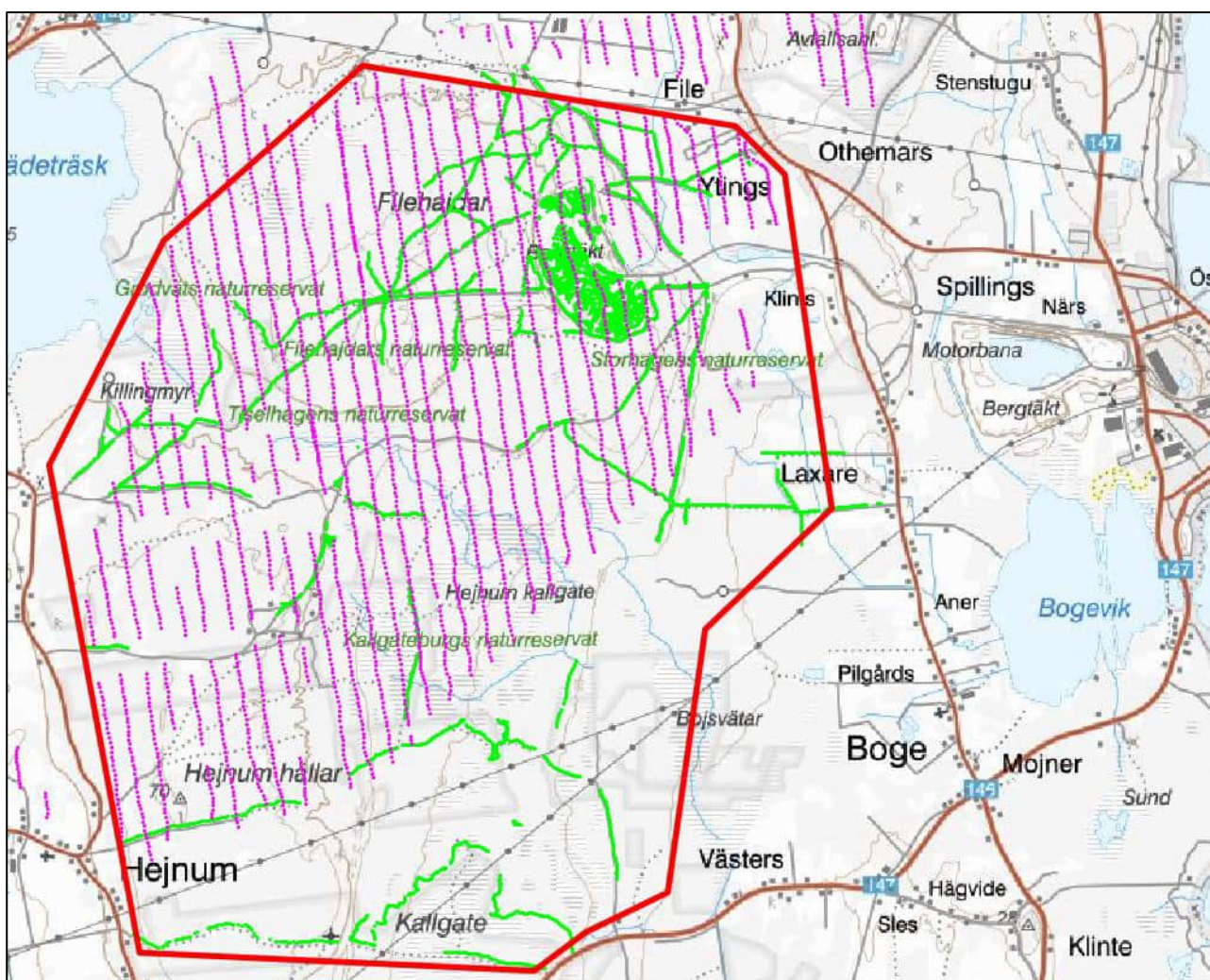
## 3.2 BEARBETNING OCH INVERSION, SKYTEM-DATA

För närmre beskrivning av SkyTEM-metoden, hänvisas till litteratur – se t.ex. Sorensen et al., 2004.

SkyTEM-data har samlats in i samband med SGU:s tidigare undersökningar på Gotland (se Dahlqvist et al., 2015; Dahlqvist et al., 2017). SGU har ställt insamlad SkyTEM-data och tillhörande resistivetsmodeller till förfogande att använda i detta projekt.

Omfattningen av SkyTEM-data som använts i föreliggande arbete visas i Figur 4.

Som nämnts tidigare, kalibreras tTEM-utrustningen både före och efter mätning vid den danska nationella kalibreringsplatsen i Lyngby, väster om Århus. SkyTEM-utrustningen som användes vid SGU:s tidigare mätningar (Dahlqvist et al., 2015; Dahlqvist et al., 2017) kalibrerades även på samma plats (Foged et al., 2013).



Figur 4. Översiktskarta över godkända data som ingår i den geofysiska tolkningen. tTEM visas med gröna linjer och SkyTEM-data med lila punkter.

Under databehandlingen har inga korrigeringar eller re-processering gjorts av SkyTEM-data som mottagits från SGU. För att ge mer jämförbara resistivetsmodeller från de båda undersökningsmetoderna har en ny



inversion av SkyTEM-data utförts baserad på 40 lager. Dessa 40 lager motsvarar SkyTEM:ens större undersökningsdjup, i förhållande till tTEM, som inverterades med 35 lager (se Tabell 1).

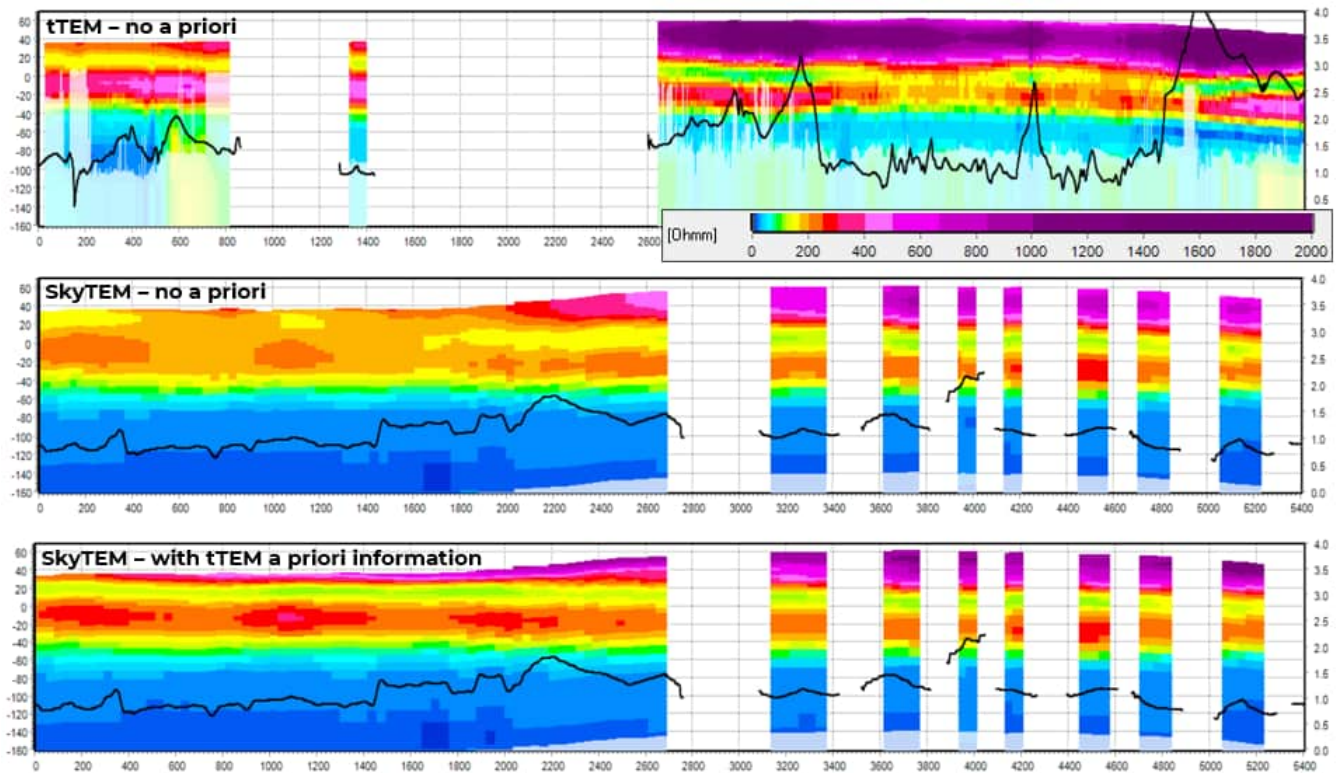
Vid en första jämförelse mellan uppkomna resistivitetsmodeller från tTEM respektive SkyTEM kunde det konstateras att de geologiska förutsättningarna i markens översta ca 60 till 80 meter kunde tolkas betydligt mer detaljerat i tTEM-data, i förhållande till SkyTEM-data. Det visade sig också att lagergränser som ligger djupare än cirka 100 meter syntes tydligare i SkyTEM-data än i tTEM-data. Med anledning av detta undersöktes möjligheterna att utföra en samtolkning av data insamlad med de två metoderna. Med den version av tolkningsprogramvaran (Aarhus Workbench<sup>2</sup>) som fanns tillgänglig hösten 2022 var det inte möjligt att utföra en gemensam inversion med data från de två olika undersökningsmetoderna. Efter direktkontakt med utvecklarna bakom tolkningsprogramvaran utvecklades en mjukvaruversion där det var möjligt att använda resistivitetsmodellerna från inversionen av tTEM-data som en a-priori-bestämd startmodell (fördefinierad modell) till inversionen av SkyTEM-data.

Som framgår av Figur 5 resulterade denna relativt lilla förändring av tolkningsprogramvaran i betydande fördelar med avseende på hur de båda dataseten kompletterar varandra. Figuren visar sektioner av resistivitetsmodeller som tagits fram genom inversion av separata tTEM- respektive SkyTEM-data (sektion överst och i mitten). Nederst i figuren syns en sektion med resistivitetsmodeller från inversion av SkyTEM, där ett genomsnitt av de närmaste förekommande tTEM-resistivitetsmodellerna används som startmodell för SkyTEM-inversionen. För den senare inversionen har, förutom den fördefinierade startmodellen, samma inställningar använts som SGU använt i tidigare inversioner av SkyTEM-data.

I Figur 5 har även modellpassningen (dataresidual) för respektive inversion plottats i sektionerna. Modellpassningens värde kan avläsas mot sektionens högra y-axel. Det kan noteras att modellpassningen är likvärdig för resistivitetsmodeller som tagits fram med eller utan startmodeller från tTEM-data (jämför passningen i mittensektionen mot den nedersta). De två olika resistivitetsmodellerna representerar således likvärdiga modeller, med likvärdig passning mot faktisk mätdata, utan att inversionerna styrts mot detta ändamål. Totalt sett gör detta data tillförlitlig att använda för tolkning.

---

<sup>2</sup> Aarhus Workbench; programvara för bearbetning och inversion av elektriska och elektromagnetiska geofysiska data utvecklad av Aarhus Geosoftware / Seequent (<https://www.aarhusgeosoftware.dk/>)



**Figur 5. Resistivetsmodeller presenterade i sektioner med längdskala i x-led (m). Djup kan avläsas till vänster på sektionerna (m ö.h.). De delar av resistivetsmodellerna som ligger under undersökningsdjupet är övertäckta av grå färg. De svarta linjerna i sektionerna anger uppkomna dataresidualer från respektive inversion. Dataresidualens storlek kan avläsas till höger i sektionerna. Inversionsinställningar som använts anges i tabell 1 respektive tabell 3. Överst: tTEM-resistivetsmodeller framtagna genom inversion utan a priori-information. Mitten: SkyTEM-resistivetsmodeller framtagna av inversion utan a priori-information. Nederst: SkyTEM-resistivetsmodeller framtagna av inversion, där tTEM-modellen används som startmodell.**

Om inget annat uttryckligen anges har de resistivetsmodeller från SkyTEM-data som visas i resten av rapporten och i alla bilagor tagits fram genom inversion där ett genomsnitt av de närmaste tTEM-modellerna använts som startmodell för inversionen, likt den nedersta sektionen i Figur 5.

Liksom för tTEM-data innehåller Bilaga A en översiktsskarta med visualisering av var SkyTEM-data samlats in och ett antal parametrar som illustrerar datakvaliteten (se Bilaga A2). I Bilaga A2 framgår följande:

- 1) Karta över modellpassning (dataresidual) mellan uppmätta data och den beräknade resistiviteten
- 2) Översiktsskarta över antalet datapunkter per sondering
- 3) Beräknat undersökningsdjup per sondering (Depth Of Investigation, DOI)

På kartan över modellpassningen (dataresidual) mellan uppmätt data och beräknad resistivitet är den insamlade datan markerad med svarta punkter. Ovanpå dessa illustreras modellpassningen med färger beroende av passningen. Grön/gul motsvarar bra passning, orange/röd medium passning och lila/violett dålig passning mellan data och modeller.

Inom undersökningsområdet syns en viss variation i modellpassningen. Den bedöms dock generellt vara i intervallet bra till medel (under 1,5). Sämre modellpassning förekommer enbart i enstaka fall. Notera att modellpassningen trots det bedöms som acceptabel eller bättre i samtliga fall. Jämfört med modellpassningen från tTEM-mätningen bedöms den generellt bättre passningen (lägre dataresidualer) komma av att SkyTEM-

mätningarna utförs med en högre signalstyrka som genererar ett bättre signal-brusförhållande och tydligare data.

Översiktskartan med antalet ingående datapunkter per SkyTEM-sondering visar att mer än 30 datapunkter generellt sett ingår. I den östra halvan av undersökningsområdet är antalet ingående datapunkter större än 40 datapunkter per SkyTEM-sondering. Antalet ingående datapunkter har valts i tidigare databearbetning av SGU. WSP har således inte gjort några ytterligare bearbetningar eller justeringar.

Det beräknade undersökningsdjupet med SkyTEM-metoden (DOI) beror, förutom egenskaperna hos själva metoden, också på områdets geologi och störningsnivån i området. Undersökningsdjupet i denna undersökning är i allmänhet över 200 meter.

Inversionsinställningar som använts för inversion av SkyTEM-data visas i tabell 3. Som en del i inversionsprocessen fördelas marken in i lager ned till metodens maximala undersökningsdjup. För SkyTEM användes 40 lager. I tabell 4 visas inställningar som använts vid framtagandet av SkyTEM-medelmotståndskartor (Bilaga B).

**Tabell 3. Inställningar för inversion av SkyTEM-data**

Typ av inversioner	Smooth, Spatial Constrained Inversion
Antal lager	40
Horisontella/vertikala band	Medel (1,3) / Medel (2,0)
Första/sista lagergräns	1,0 m / 250 m
Startvärde för resistivitetsmodeller vid inversion	Medelvärde för tTEM-modeller inom en radie av 3000 m

**Tabell 4. Inställningar som använts för framtagande av SkyTEM-medelmotståndskartor.**

Sökradie	150 meter
Nodavstånd	10 meter
Griddningsmetod	Kriging

# 4 PRESENTATION AV GEOFYSISKA RESULTAT

I Bilaga B presenteras resultaten från inversionen av tTEM- respektive SkyTEM-data i form av medelmotståndskartor. Medelmotståndskartorna visar resistivitetsvariationer inom fem meters intervall från nivå +65 meter till nivå +20 meter. Därunder presenteras resistivitetsvariationerna i 10 meters intervall ner till nivå -100 meter (tTEM) och till nivå -160 meter (SkyTEM). Elevation i Bilaga B avser plusnivåer i höjdsystemet RH 2000.

Om en datapunkt ligger under nivån för det berörda nivåintervallet eller om nivåintervallet ligger på ett större djup än det aktuella undersökningsdjupet (DOI) exkluderas resistivitetsmodellen från medelmotståndskartorna. Därför ingår relativt få resistivitetsmodeller i de övre och djupaste intervallen.

I Bilaga C visas resistivitetsmodeller längs ett antal utvalda profiler som resistivitetssektioner genom området. Resistivitetsmodellerna inom ett buffertavstånd på 10 respektive 50 meter från profilen har projicerats in på profilerna för tTEM- respektive SkyTEM-mätningarna. Elevation i Bilaga C avser plusnivåer i höjdsystemet RH 2000.

De geofysiska resultaten kan översättas till geologisk information genom en korrelation mellan geologiska lager och deras specifika elektriska resistivitet. För Gotland beskrivs detta samband i SGU:s rapport om SkyTEM-undersökningen på Gotland (Dahlqvist et al., 2015; Dahlqvist et al., 2017) samt i nedanstående tabell, se Figur 6

Geologi, markanvändning	Grundvatten- miljö	Resistivitets- intervall (Ohmm)	Kommentar
Torv, lera, gyttja	Sött	10–50	
Sand, grus	Över gvy	>300	Förekommer oftast i dynamråden eller strandvallar
Sand, grus	Sött	80–200	
Jordbruksmark	Sött	10–50	Lerrickare jord med sötvatten
Morän (lerig)	Sött	30–80	Lerrickare jord med sötvatten
Kalksten	Över gvy	>1000	Sprick- porfattig kalksten har högst resistivitet medan inslag av mörgel i kalkstenen kan sänka resistiviteten betydligt
Kalksten	Sött	200–1000	Sprick- porfattig kalksten har högst resistivitet medan inslag av mörgel i kalkstenen kan sänka resistiviteten betydligt
Kalksten	Salt	10–200	Sprick- porfattig kalksten har högst resistivitet
Mörgel- eller mörgelsten	Sött	50–200	Områden med högst resistivitet innebär mörgel med betydande inslag av kalksten i form av skikt eller lager
Mörgel eller mörgelsten	Salt	10–80	
Berggrund mättad med salt grundvatten	Salt	<40	Se diskussion i avsnittet: <i>Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands berggrund</i>

Figur 6. Korrelation mellan geologiska material och elektrisk resistivitet (Dahlqvist et al., 2015; Dahlqvist et al., 2017).

# 5 GEOLOGISK TOLKNING OCH GEOLOGISK MODELL

---

## 5.1 BEFINTLIG GEOLOGISK 3D-MODELL

Baserat på de tidigare utförda SkyTEM-undersökningarna på Gotland upprättades under 2017–2018 en geologisk 3D-modell över Gotland (Jørgensen, et al., 2018; Persson, 2021/). Denna geologiska modell består av 3 delar: en stratigrafisk modell, en litologisk modell och en modell som åskådliggör förekomsten av saltvatten. Den litologiska modellen är en voxelmodell med celler på 100 m x 100 m i sidled och 2 m vertikalt. I File hajdar-området är cellerna indelade i följande litologiska klasser:

- Revartad kalksten
- Kalksten
- Märgel/Märgelsten

I modellen har den revartade kalkstenen resistivitet på mer än 250–300 ohmm och märgel har vanligtvis resistivitet under 40 ohmm. Kalksten har resistivitet i intervallet däremellan.

Den stratigrafiska modellen av File hajdar-området visar att Visbyformationen förekommer från ca -50 m och nedåt. Lagren ovan tillhör Sliteformationen. Visbyformationen kännetecknas av märgelstenar och innehåller fossilt saltvatten. Gränsen mellan Visby- och Sliteformationen utgörs därmed litologiskt av en märgelyta i området. Denna gräns finns som en lageryta i modellen.

Den litologiska voxelmodellen anger att ett 10–20 m tjockt märgellager förekommer i stora delar av området. Detta märgellager är inbäddat i kalksten. Närmre markytan föreligger revkalkstenavlagringar.

SGU har använt GeoScene 3D för att skapa den geologiska modellen över området. SGU har ställt modellen till förfogande att använda i det föreliggande projektet.

---

## 5.2 GEOLOGISKA TOLKNINGAR AV TTEM

De insamlade tTEM-uppgifterna har tolkats geologiskt genom korrelation mot annan tillgänglig data från området. Övriga uppgifter består av:

- Prospekteringsborrningsdata 1993
- Prospekteringsborrningsdata 1999
- Prospekteringsborrningsdata, nya
- Loggar över transmissivitet
- SkyTEM-data

Uppgifter från borrningsdata och transmissivitetsloggar har tillhandahållits av Heidelberg Materials och SkyTEM-data har tillhandahållits av SGU.

Tolkningarna har utförts i GeoScene 3D, där data visualiseras i en 3D GIS-miljö, samt i vertikala sektioner. All tillgänglig data importerades således in i GeoScene 3D. Prospekteringsborrningsdata tillhandahölls i Excel-format, som formaterades och sorterats så att den kunde importeras i GeoScene 3D. Totalt har data från 67 prospekteringsborrhål importerats.

Dessutom har resultaten från transmissivitetsloggar i 23 brunnar importerats till GeoScene 3D. Dessa data har främst använts för att bekräfta tolkningarna men har även använts för direkta tolkningar i områden som saknat tTEM- eller SkyTEM-modeller.

På grund av sitt generellt sett större undersökningsdjup, har SkyTEM-modellerna använts för tolkning av de djupast liggande lagren, som återfinns under det maximala undersökningsdjupet (DOI) för tTEM och i områden där tTEM-modeller inte finns.

I den geologiska tolkningen används samma litologiska klasser som för den befintliga 3D-modellen: Revartad kalksten, kalksten, Märgel/Märgelsten.

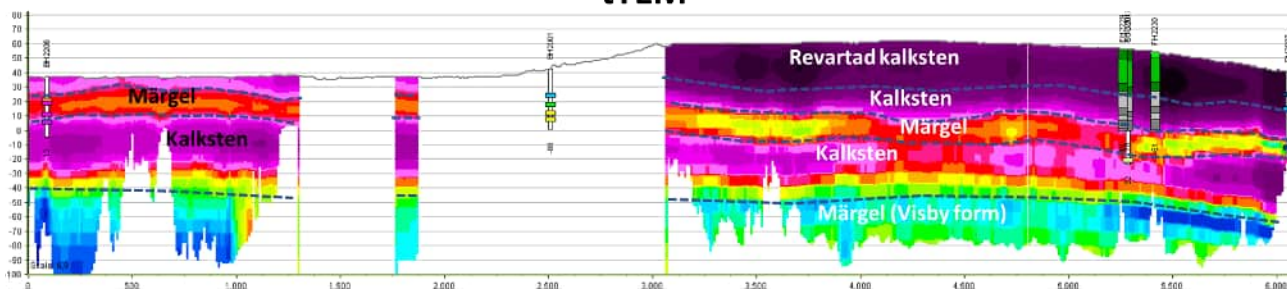
Figur 7 och Figur 8 visar resistivitetssektioner med exempel på geologiska tolkningar. De översta sektionerna i de båda figurerna visar tTEM-modeller med införda uppgifter från närliggande prospekteringsborrhingsdata och transmissivitetsdata. Tolkade lager har markerats med streckade grå linjer och text som beskriver den geologiska tolkningen.

Mittensektionerna i figurerna visar 3D-interpolerade SkyTEM-modeller, från inversioner utan startmodell från tTEM. Geologisk tolkning av dessa sektioner redovisas på samma sätt som för de översta sektionerna. Sektionen längs ned i figurerna visar SkyTEM-data som inverterats med startmodell från tTEM-mätningarna. Även här redovisas en geologisk tolkning.

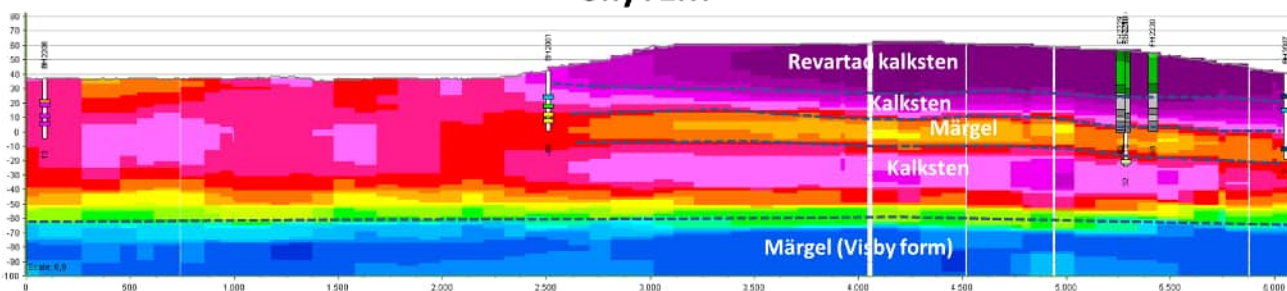
Bäst förutsättningar för en detaljerade tolkning syns i tTEM-modellerna men de geologiska strukturerna kan också tolkas, i varierande grad, utifrån SkyTEM-modellerna. Inversionen, där information från tTEM ingår som startmodell, förbättrar tydligt möjligheterna att tolka SkyTEM-modellerna.



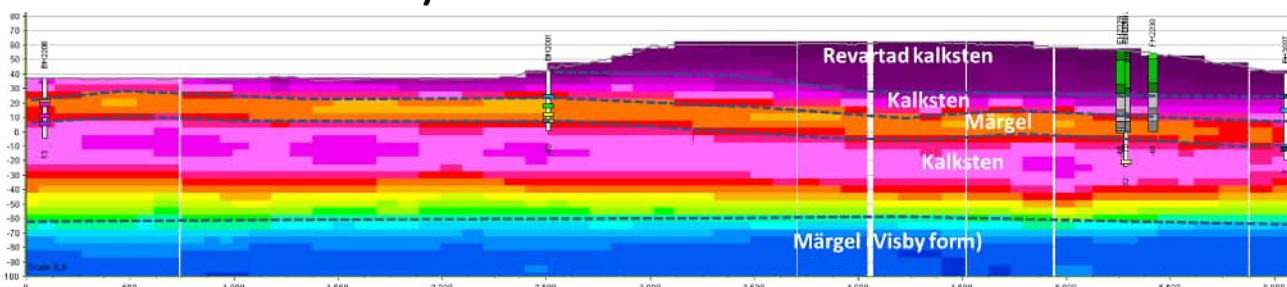
## tTEM



## SkyTEM



## SkyTEM med information fra tTEM



### Transmissivitet:



### Prospekteringsborhål:

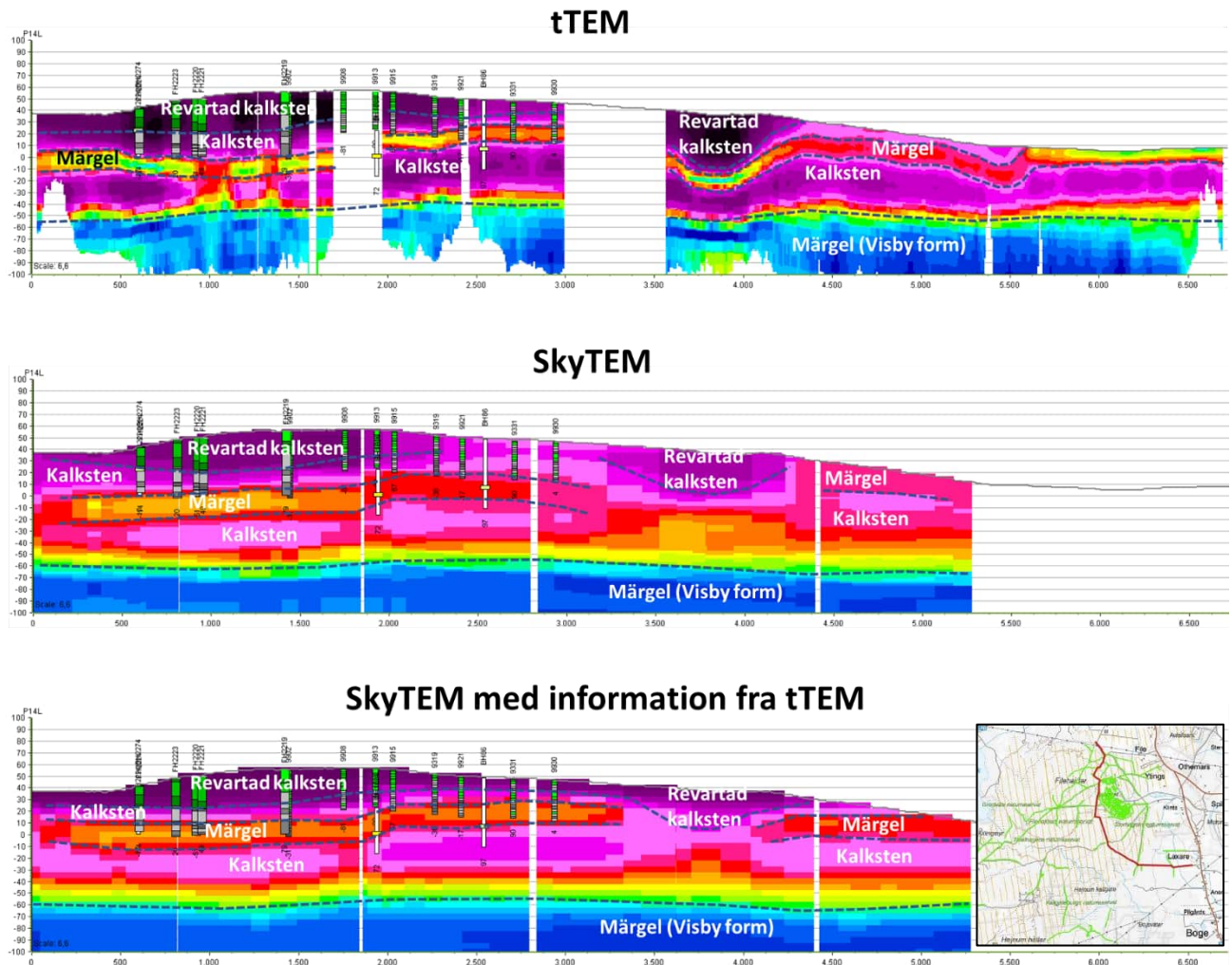
- KALKARENIT\_Kalkarenit
- KALCIRUDIT\_Kalcirudit
- KALCILUTIT\_Kalcilutit
- MäRGEL\_Märgel
- REV\_Rev
- MäRGEL/ LERIG KALCILUTIT\_Märgel/ lerig calcilutit
- TURBIDITISK KALCIRUDIT\_Turbiditisk kalcirudit
- REVNÄRA KALKARENIT\_Revnära kalkarenit
- REVREVNÄRA REVGRUS\_Revrevnära revgrus
- REVREVNÄRA\_RevRevnära
- REVKÄRNA\_Revkärna
- KALKARENIT/REVGRUS\_Kalkarenit/Revgrus
- REVGRUS\_Revgrus
- REVGRUS/KALKARENIT\_Revgrus/kalkarenit

### Prospekteringsborhål 1993/99:

- Ukendt
- HST\_Högsten
- LST\_Lågsten
- M\_Märgel



Figur 7 i mitten och SkyTEM-resistivetsmodeller efter inversion med tTEM-information längst ned. Geologiska tolkningar av lagergränser har markerats med streckade grå linjer och text som anger geologisk tillhörighet. Borrhålsdata och resultat från transmissivetsloggar har lagts in i data och visas som vertikala staplar. Geologisk beskrivning av borrhålen kommer från Heidelberg Materials. "Högsten" beskriver ett högt innehåll av CaO och lågt K<sub>2</sub>O-innehåll. "Lågsten" beskriver ett lågt innehåll av CaO och högt K<sub>2</sub>O-innehåll. Lokalisering av profil ses med röd linje i infälld karta.



Figur 8 i mitten och SkyTEM-resistivetsmodeller efter inversion med tTEM-data längst ned. Geologiska tolkningar av lagergränser har markerats med streckade grå linjer och text som anger geologisk tillhörighet. Borrhålsdata och resultat från transmissivetsloggar har lagts in i data och visas som vertikala staplar. Lokalisering av profil ses med röd linje i infälld karta. Förklaringar visas i Figur 7.

Visbyformationen (märgel) ses tydligt som ett lager med låga resistivitet (<40 ohm) längst ner i sektionerna (blå färger). Lagret ses på större djup i SkyTEM-modellerna än vad som visas i tTEM-modellerna. Djupet för denna enhet är inte närmre känt från övriga data i området. Det förväntas dock att föreligga vid ett så stort djup att det bäst åskådliggörs av SkyTEM-mätningen.

I mitten av lagerserien syns ett 5–10 m mäktigt lager med låg resistivitet tydligt i tTEM. Detta lager sammanfaller med uppgifter om "Märgel" från utförda prospekteringsborrhål. Lagret kan följas från början till slut i båda sektionerna och syns praktiskt taget i tTEM-modellerna i hela det kartlagda området. På enstaka platser i undersökningsområdet går lagret i dagen, vilket t.ex. kan ses i den högra delen av sektionen i Figur 8. Lokalt inom undersökningsområdet uppmäts andra lågresistiva lager i ytan (visas inte på sektionerna i Figur 7



och Figur 8). Här förmår inte tTEM-mätningarna att åskådliggöra märeln. Analyser av data tyder dock på att märeln sannolikt även förekommer där.

Märgellagret syns även i SkyTEM-modellerna men är där mäktigare och har högre resistivitet. SkyTEM-metoden förmår inte att åskådliggöra lagret i hela området, men med startmodellen från tTEM kan lagret identifieras på fler ställen än vad som var möjligt tidigare. På så sätt kan även lagret tolkas och följas bättre i områden där tTEM-data inte finns tillgängliga.

I de översta delarna av sektionerna i Figur 7 och Figur 8 finns lager med mycket höga resistiviteter. I tTEM-resistivitetsmodellerna uppnås nivåer på över 1000 ohmm. Dessa lager tolkas som Revartad kalksten. På vissa platser tolkas den revartade kalkstenen att förekomma i fördjupningar som bildats i de underliggande lagren av märeln och kalksten – se till exempel i mitten av den översta sektionen i Figur 8.

Revartad kalksten motsvarar i huvudsak "Högsten" i prospekteringsborrningsdata från 1993/1999 och "Rev", "Kalcirudite" och "Kalkarenit" i nyare prospekteringsborrningsdata.

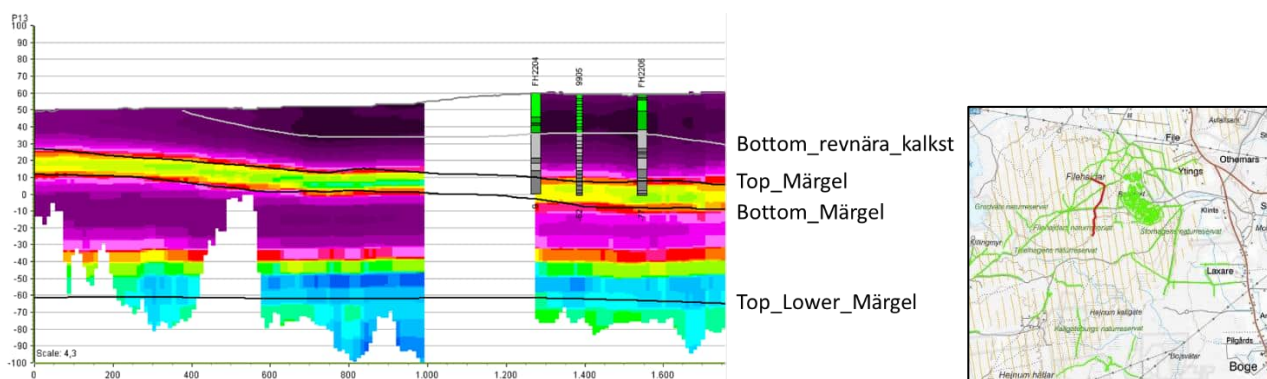
Lagren mellan Visbyformationen, märgellagret och den Revartade kalksten har typiskt resistiviteter i intervallet 100 (150) och 500 (800) ohmm och tolkas som kalksten. Kalkstenen motsvarar främst "Lågsten" och "Märeln" i prospekteringsborrningsdata från 1993/1999 och "Kalcilutit" och "Märeln" i nyare prospekteringsborrningsdata.

## 5.3 GEOLOGISK MODELL

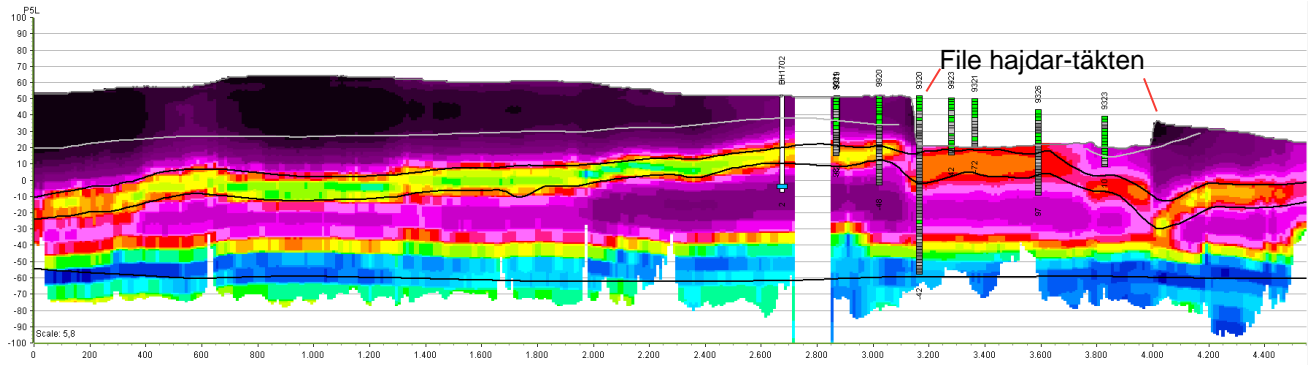
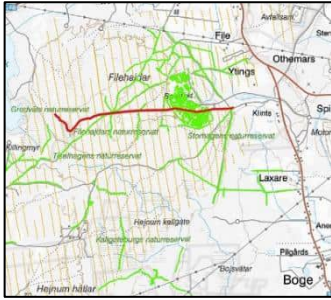
Utifrån importerade data till GeoScene3D har en geologisk 3D-modell tagits fram. Denna modell består av följande lagerytor:

- Botten av Revartad kalksten ("Bottom\_revnära\_kalkst")
- Överyta av övre märgellager ("Top\_Märeln")
- Botten av övre märgelskiktet ("Bottom\_Märeln")
- Överyta av nedre märgellager ("Top\_Lower\_Märeln")

Lagerytorna, som består av rutnät, togs fram genom interpolering av tolkningspunkter. Tolkingspunkterna är punkter som sätts ut manuellt längs de olika tolkade lagren i tolkningsarbetet. Interpoleringen har utförts med kriging. En sökradie på 3000 m och en cellstorlek på 25 m x 25 m har använts. Därefter exporterades lagerytorna i csv-format för vidare inarbetning i en grundvattenmodell. I Figur 9 och Figur 10 visas framinterpolerade lagerytor och resistivitetsmodeller som sektioner för två utvalda profiler.



**Figur 9. Vald sektion med tTEM, prospekteringsborrningsdata och de fyra interpolerade lagerytorna. Lokalisering av profil ses med röd linje i infälld karta. Se Figur 7 för förklaringar.**



Figur 10. Vald sektion med tTEM, prospekteringsbörningsdata och de 4 interpolerade lagerytorna. Se Figur 7 och Figur 9 för förklaringar. Lokalisering av profil ses med röd linje i infälld karta.

### Botten av Revartad kalksten

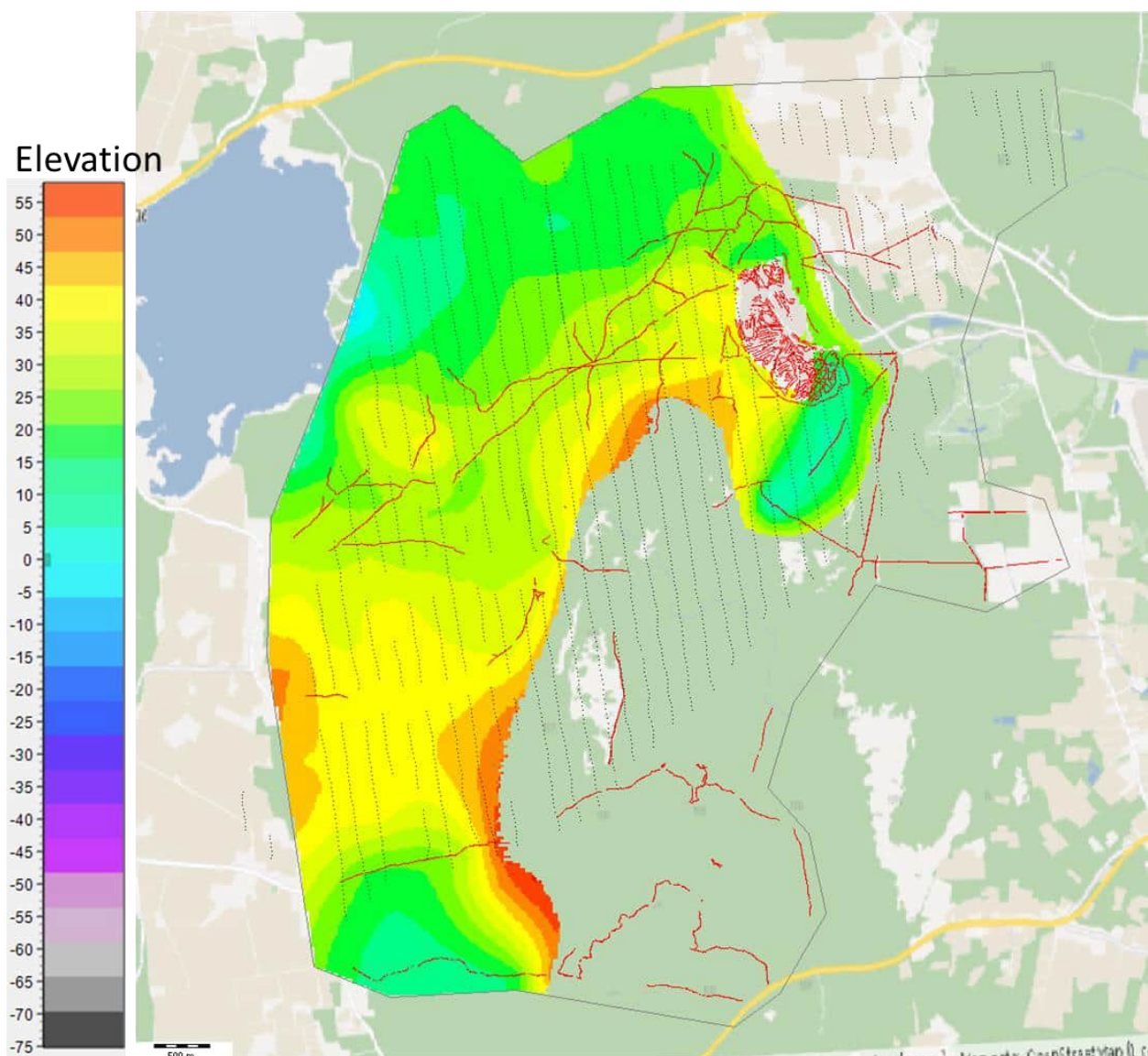
Tolkningspunkter för lagret har i första hand satts längs tTEM-profiler. Avståndet mellan punkterna är mellan 2–300 m.

Tolkningspunkter avsattes också vid prospekteringsborrningsdata och i områden där lagergränsen syns i SkyTEM-profilerna.

Där resistivitetskontrasten är svag eller diffus blir lagergränsen mer osäker. På flera platser där uppgifter finns från borrhningar, indikerar dessa att lagergränsen ligger något djupare än vad tTEM-modellerna indikerar. Här har modelleringen utförts med företräde för uppgifter från borrhningarna.

Lagergränsen bekräftas även av resultaten från transmissivitetsloggar på flera platser.

Lagerytans morfologi visas i Figur 11. Den revartade kalkstenen saknas under tälkten samt i undersökningsområdets östliga och sydöstliga delar, varför lagret inte heller tolkats in i Figur 11.



**Figur 11. Modellerad lageryta för botten av revartad kalksten. tTEM-profiler visas med röda linjer och SkyTEM-sonderingar med svarta prickar. Elevation avser +höjd i RH 2000.**



### Överyta av övre märgellager

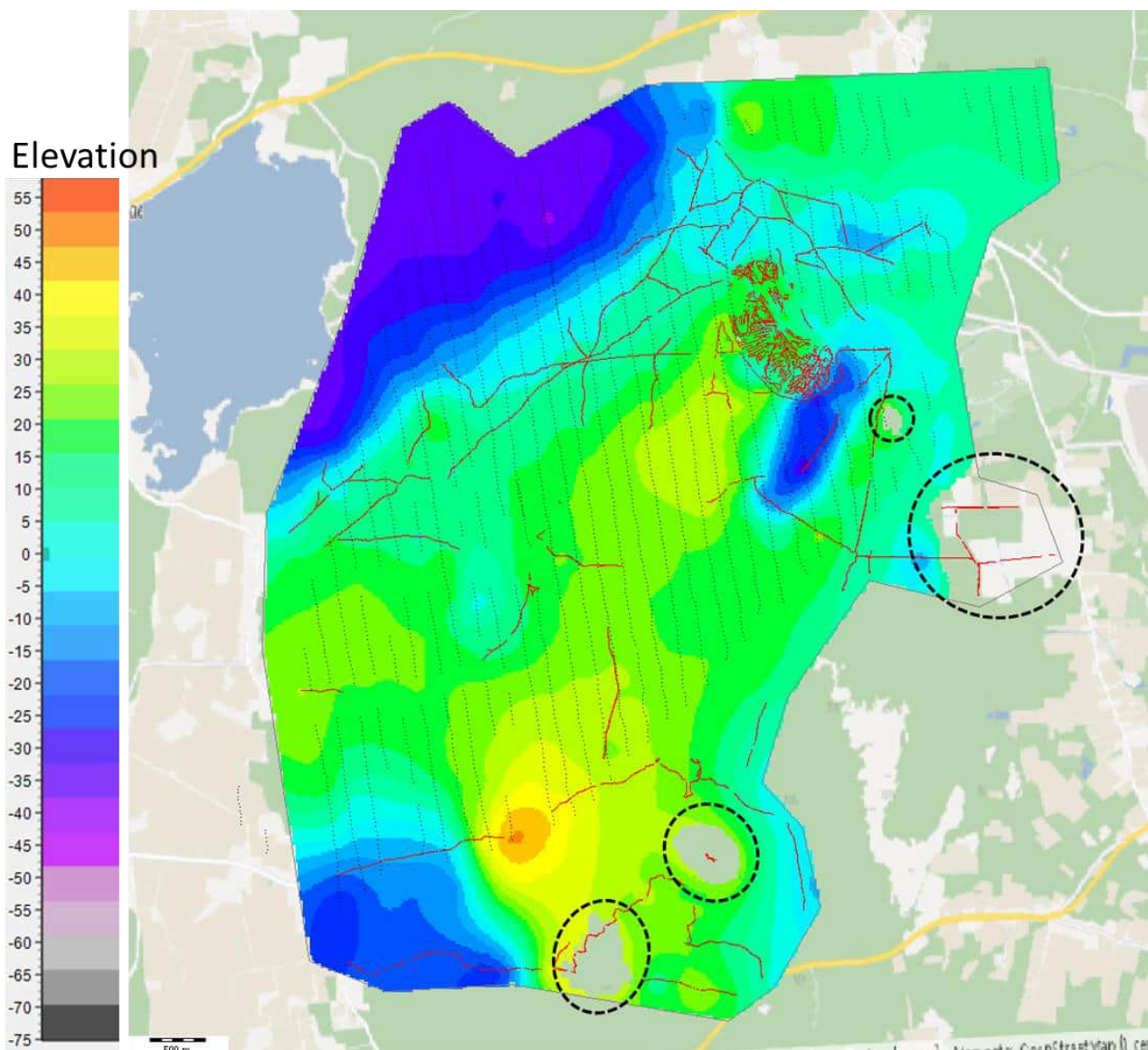
Tolkningspunkter för lagret har satts ut både längs tTEM-profiler, längs SkyTEM-profiler och där lagret identifierats i borrhdata.

Eftersom lagerytan syns tydligt i tTEM är avståndet mellan tolkningspunkterna litet (ca 100 m). Längs SkyTEM är avståndet 3–400 m mellan tolkningspunkterna.

Lagergränsen kan bestämmas noga med tTEM, eftersom lagret ger upphov till en tydlig resistivitetskontrast. I SkyTEM-modellerna är dock kontrasten mindre tydlig och tolkningen blir därför mer osäker.

Lagergränsen bekräftas även av resultaten från transmissivetsloggar på flera platser.

Lagerytans morfologi visas i Figur 12. I figuren har fyra platser markerats med streckade cirklar, vari märgellagret går i dagen. Här har inte lagret tolkats varför det syns som områden utan data.



**Figur 12. Modellerad lageryta för överyta av övre märgellager. tTEM-profiler visas med röda linjer och SkyTEM-sonderingar med svarta prickar. Inom områden med streckade cirklar förekommer inte det tolkade lagret. Elevation avser +höjd i RH 2000.**

### Botten av övre märgellager

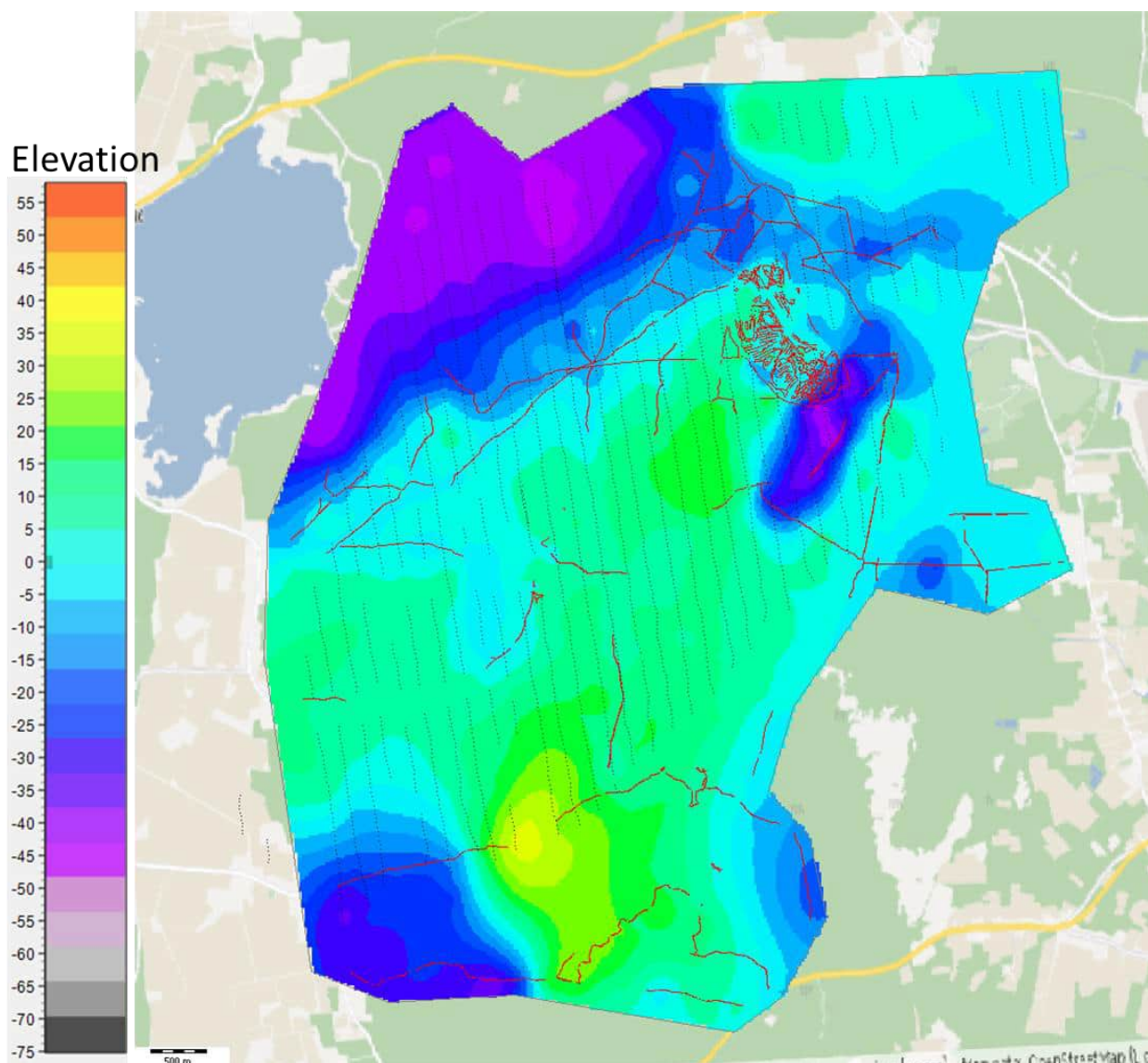
Precis som för överytan av det övre märgellagret har tolkningspunkter för botten av märgellagret satts ut längs tTEM-profiler, längs SkyTEM-profiler och utifrån uppgifter från borrhål.

Eftersom tTEM visar lagerytan i detalj är avståndet mellan tolkningspunkterna litet (ca 100 m). Längs SkyTEM är punktavståndet 3–400 m mellan tolkningspunkterna.

Lagergränsen kan bestämmas noga med tTEM, eftersom lagret ger upphov till en tydlig resistivetskontrast. För SkyTEM är dock kontrasten mindre tydlig och tolkningen blir därför något mer osäker.

Lagergränsen bekräftas även av resultaten från transmissivetsloggar på flera platser.

Lagerytans morfologi visas i Figur 13.



**Figur 13. Modellerad lageryta för botten av övre märgellager. tTEM-profiler visas med röda linjer och SkyTEM-sonderingar med svarta prickar. Elevation avser +höjd i RH 2000.**



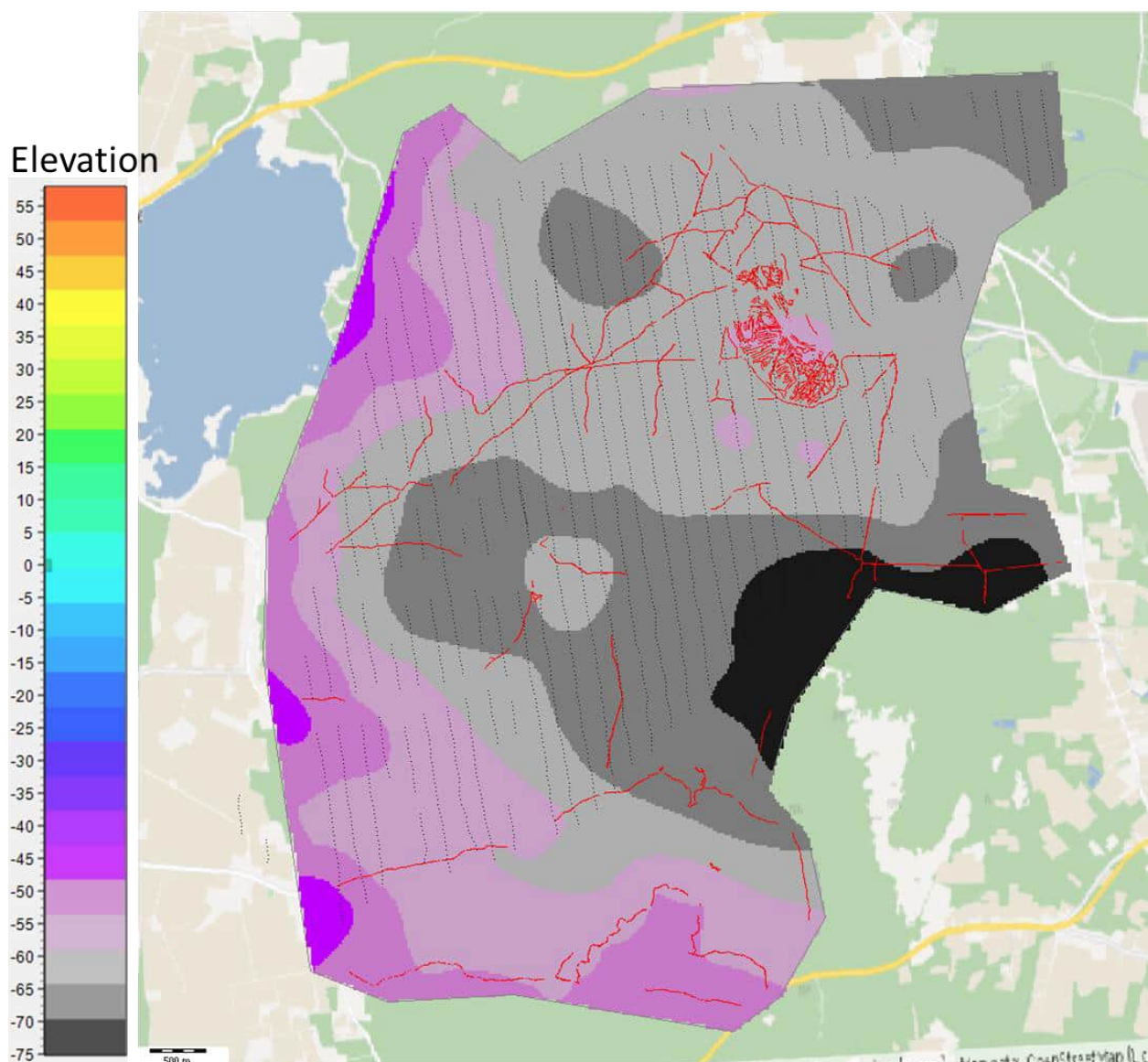
### Överyta av nedre märellagret

Som nämnts ovan indikerar resultaten från tTEM respektive SkyTEM att detta lager återfinns vid olika djup.

Lagret ligger på gränsen till tTEM-metodens maximala undersökningsdjup och kan därför inte bestämmas säkert i dessa modeller. Däremot återges lagret tydligare med SkyTEM-mätningen varför dessa modeller använts vid modellering av lagerytan.

Lagerytan är därför identisk med den lageryta som togs fram i den tidigare modellen över hela Gotland. Den tolkades baserat på en resistivitetskontrast vid 40 ohmm i SkyTEM-data (Persson, 2021).

Lagerytans morfologi visas i Figur 14.



**Figur 14. Modellerad lageryta för toppen av nedre märellagret. tTEM-profiler visas med röda linjer och SkyTEM-sonderingar med svarta prickar. Elevation avser +höjd i RH 2000.**

## 6 REFERENSER

Auken, E., Foged, N., Juul Larsen, J., Trøllund Lassen, K. V., Kumar Maurya P., Møller Dath, S., Tolstrup Eiskjær T. (2019). tTEM — A towed transient electromagnetic system for detailed 3D imaging of the top 70 m of the subsurface. *Geophysics* 2018; 84 (1): E13–E22. doi: <https://doi.org/10.1190/geo2018-0355.1>

Dahlqvist, P., Triumpf, C-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., Jørgensen, F., Olander, T. H., Gustafsson, M., Thorsbrink, M., Schonning, K. & Curtis, P. (2015). SkyTEM-undersökningar på Gotland (Rapporter och Meddelanden 136). SGU. <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/rm/rm136rapport/rm136-rapport.pdf>

Dahlqvist, P., Triumpf, C-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., & Schonning, K. (2017). SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2 (Rapporter och Meddelanden 140). SGU. <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/rm/rm140rapport/rm140-rapport.pdf>

Foged, N., Auken, E., Vest Christiansen, Sørensen, A., K. I. (2013). Test site calibration and validation of airborne and ground based TEM systems. *Geophysics*, 78, E95-E106. <https://doi.org/10.1190/geo2012-0244.1>

Jørgensen, F., Elström, M., Persson, P., Bastani, M., Sophet, D., Lundh Gulbrandsen, M., Dahlqvist, P., A 3D geological model of the Island of Gotland based on extensive airborne EM mapping, seismic data and log stratigraphy; Flemming Jørgensen et al.; Conference Paper; AEM 2018, 7th International Workshop on Airborne Electromagnetics

Sandersen, P. B.E., Kallesøe, A. J., Møller, I., Høyer, A-S., Jørgensen, F., Pedersen, J. B., Christiansen, A. V. (2021). Utilizing the towed Transient ElectroMagnetic method (tTEM) for achieving unprecedented near-surface detail in geological mapping. *Engineering Geology* vol 288.

Sorensen, K. I. & Auken, E. (2004.) SkyTEM—a New High-resolution Helicopter Transient Electromagnetic System, *Exploration Geophysics*, 35:3, 194-202, DOI: 10.1071/EG04194

Persson, L. (2021). Geologisk 3D-modell: Gotland (SGU-rapport 2021:27). SGU. <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport202127rapport/s2127-rapport.pdf>



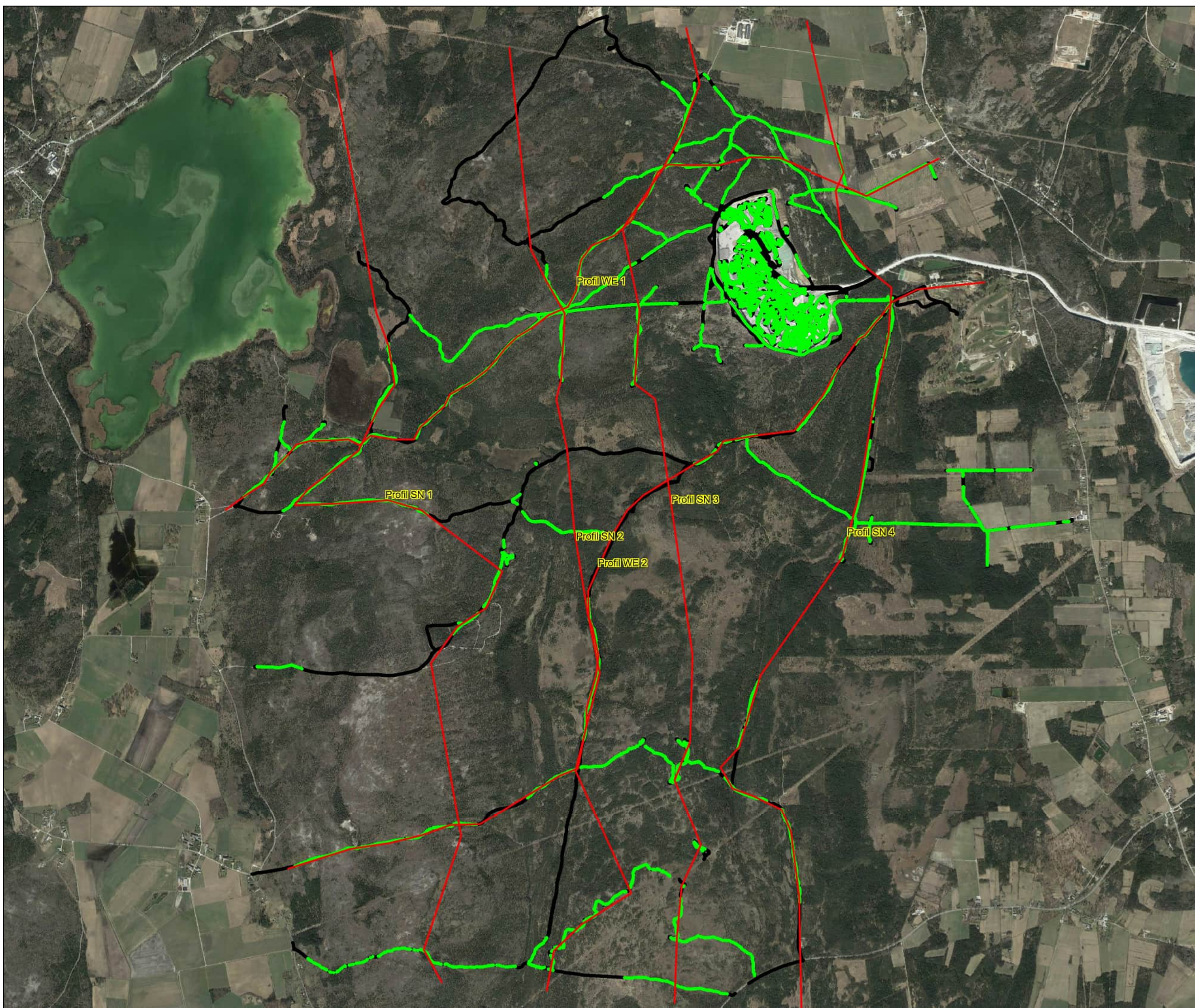





# BILAGA

- A
  - 1) ÖVERSIKT
  - 2) KVALITETSKARTOR, TTEM OCH SKYTEM





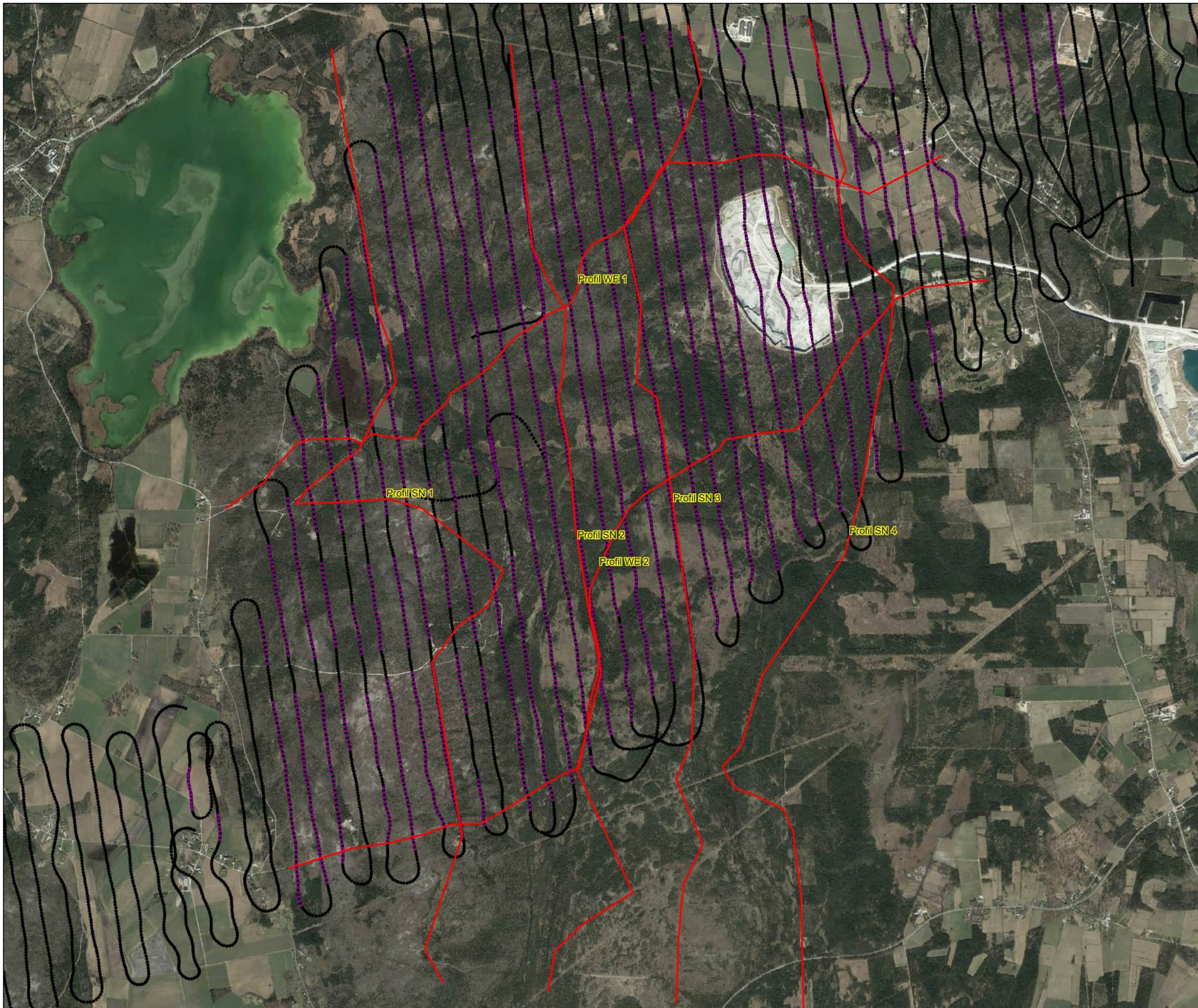





-  Profile
-  Collected data
-  Used soundings



Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023





-  Profile
-  Collected data
-  Used soundings



Project no. 22001822

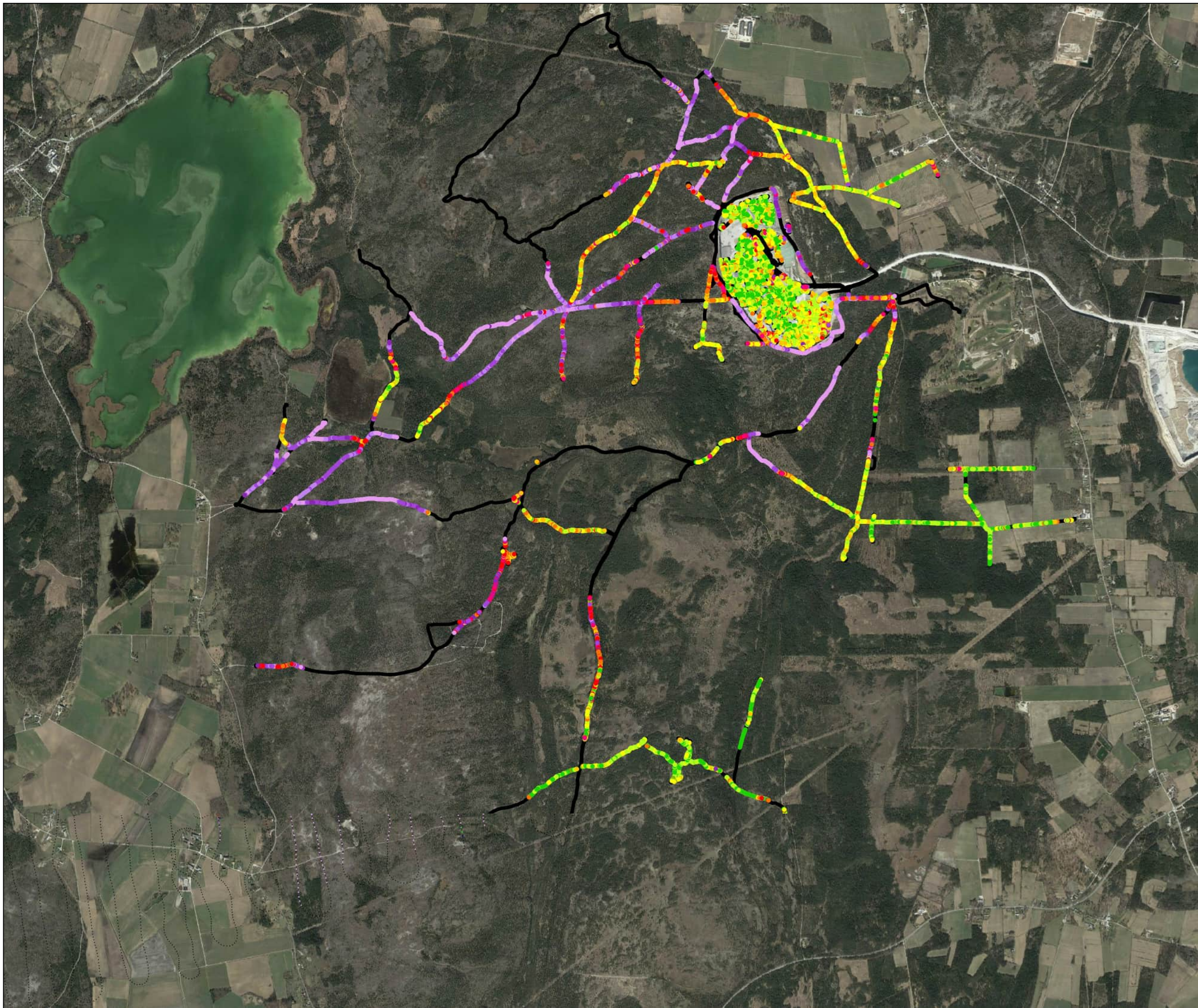
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

29-03-2023

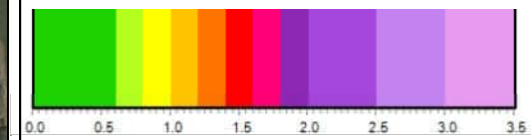


Geophysics, Slite, Gotland  
Dataresidual, tTEM



— Collected data  
○○ Used soundings

Dataresidual



Project no. 22001822

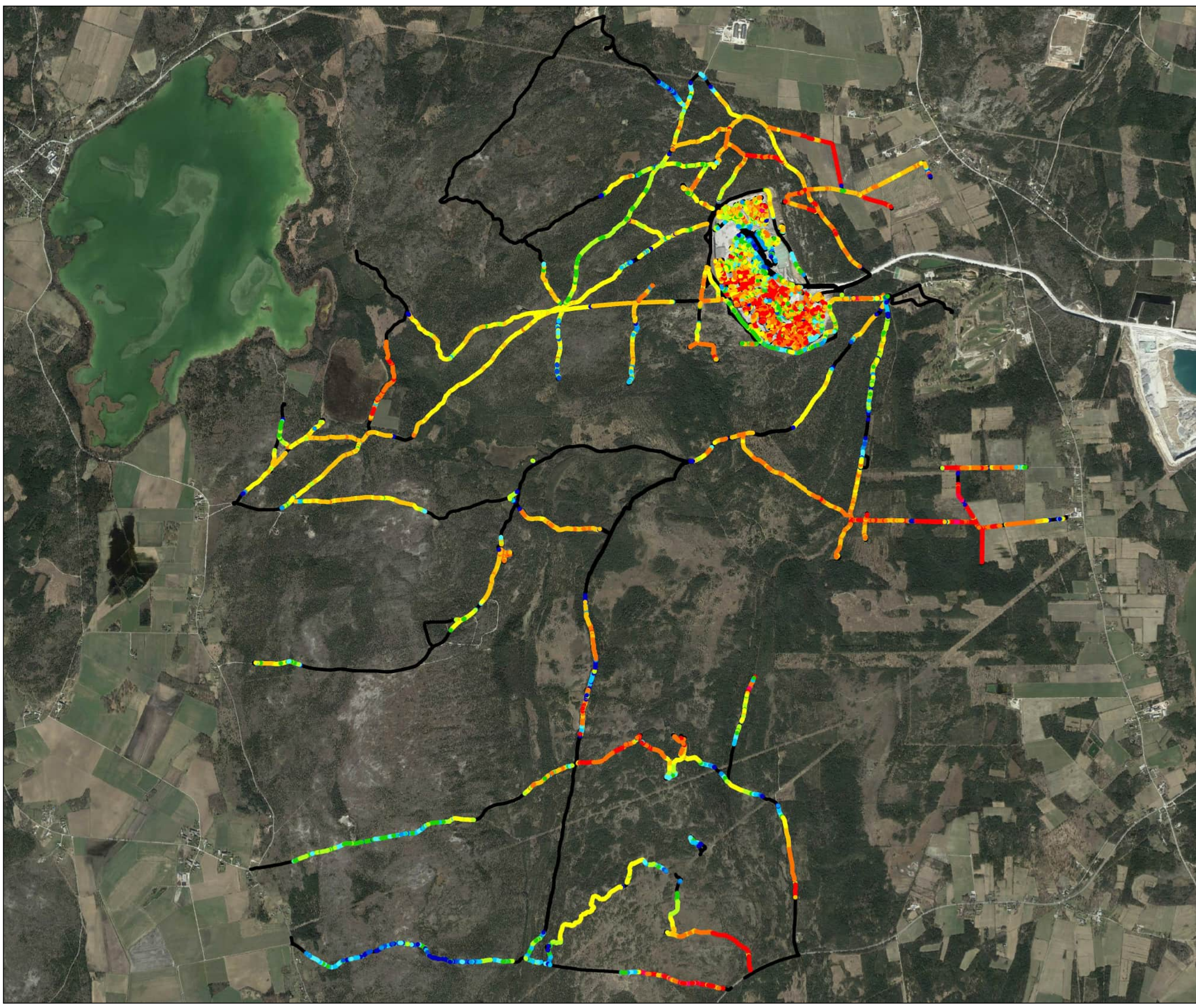
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

29-03-2023

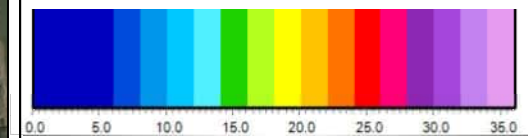


Geophysics, Slite, Gotland  
Number of datapoints, tTEM



— Collected data  
○○○ Used soundings

Number of datapoints



Project no. 22001822

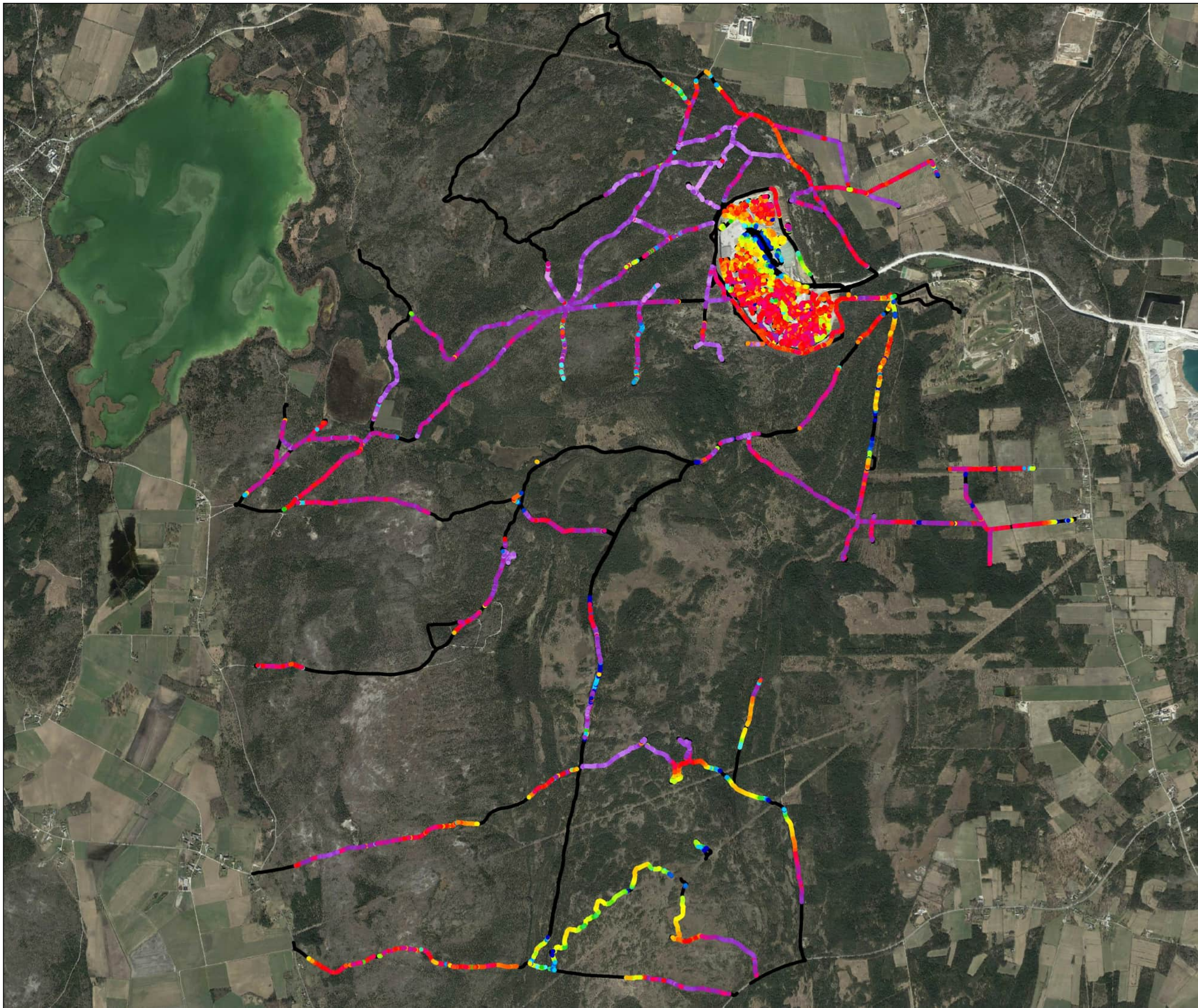
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

29-03-2023

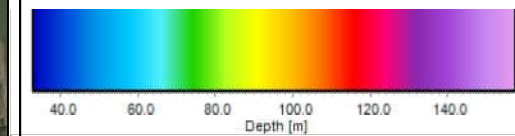


Geophysics, Slite, Gotland  
Depth of investigation (DOI), tTEM



— Collected data  
○○○ Used soundings

DOI (m)



Project no. 22001822

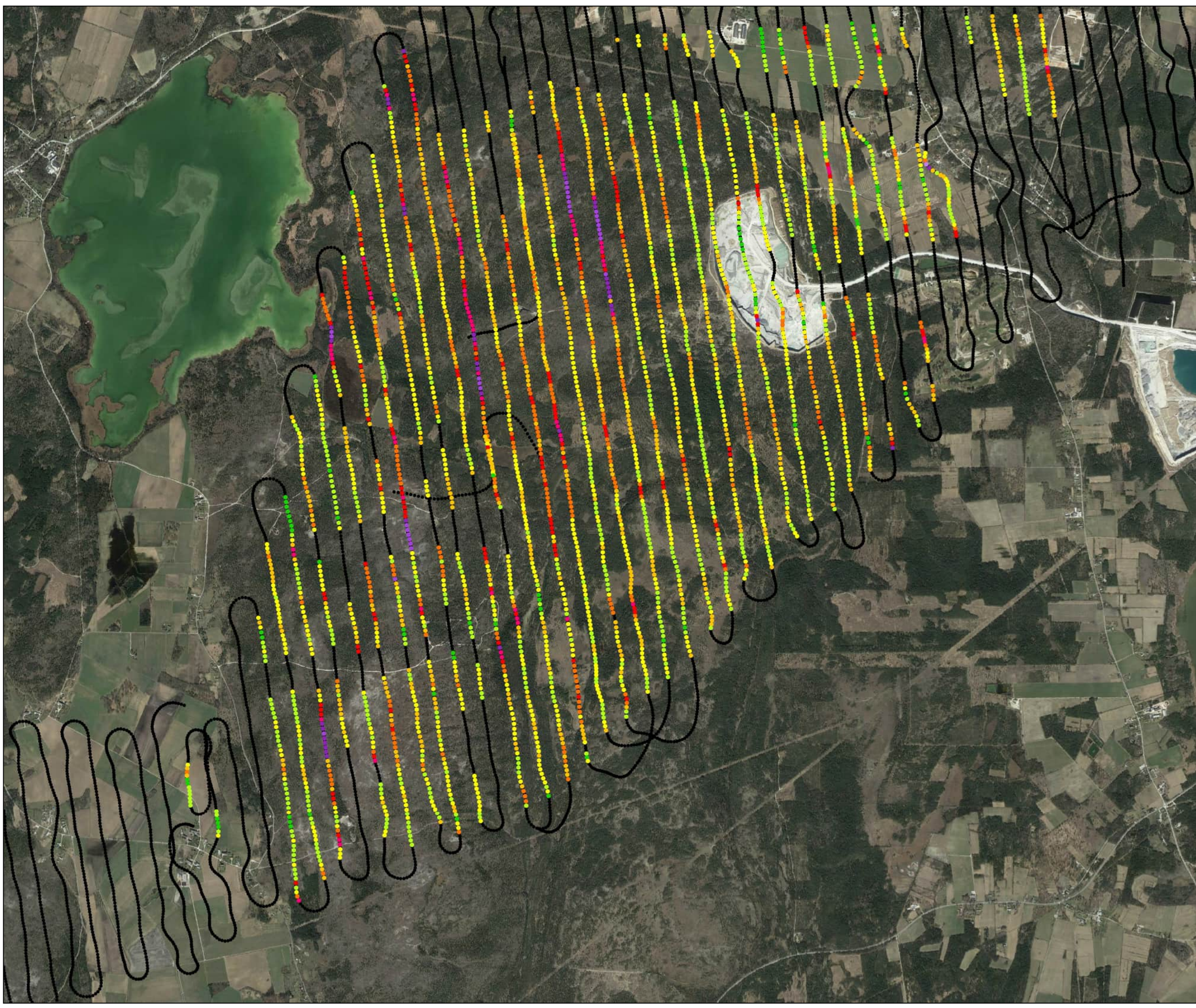
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

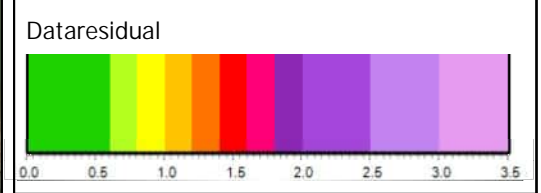
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Dataresidual, SkyTEM



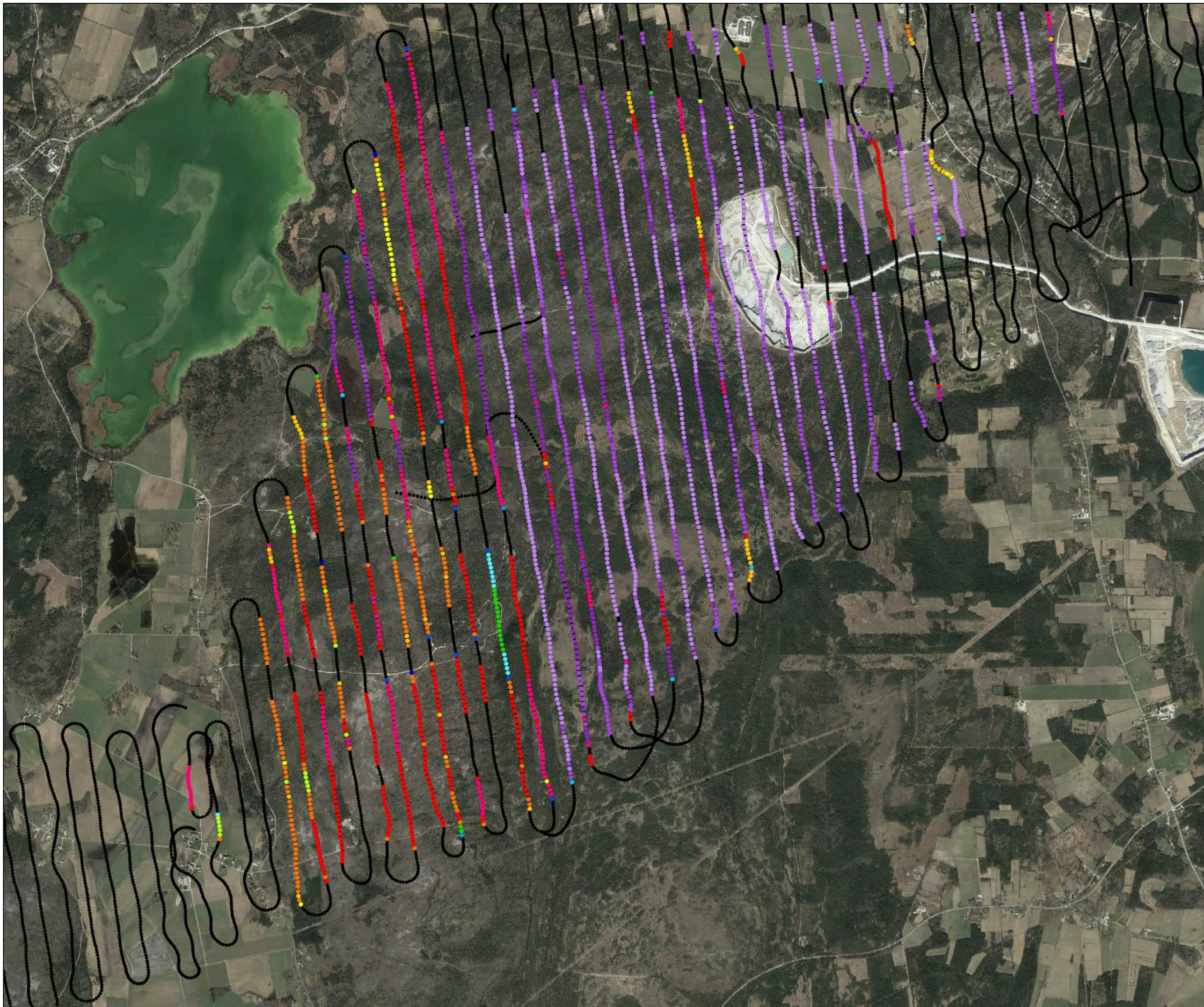
— Collected data  
●● Used soundings



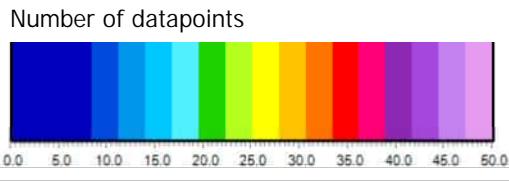
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Number of datapoints, SkyTEM



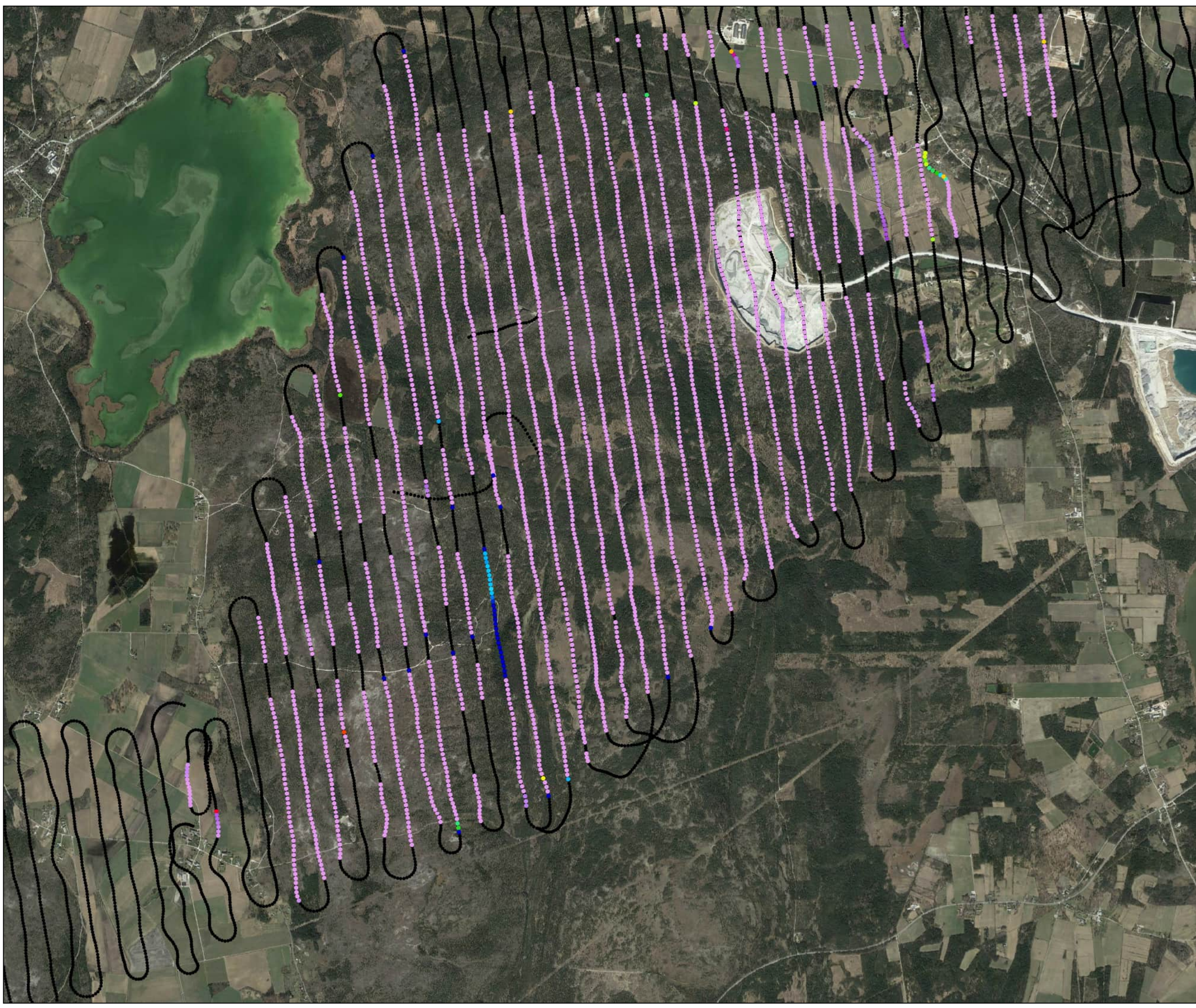
— Collected data  
○○ Used soundings



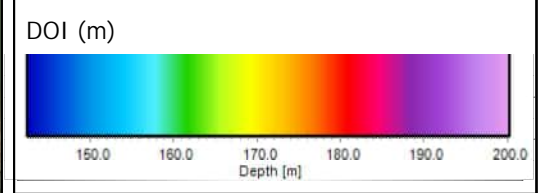
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Depth of investigation (DOI), SkyTEM



— Collected data  
● Used soundings



Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023

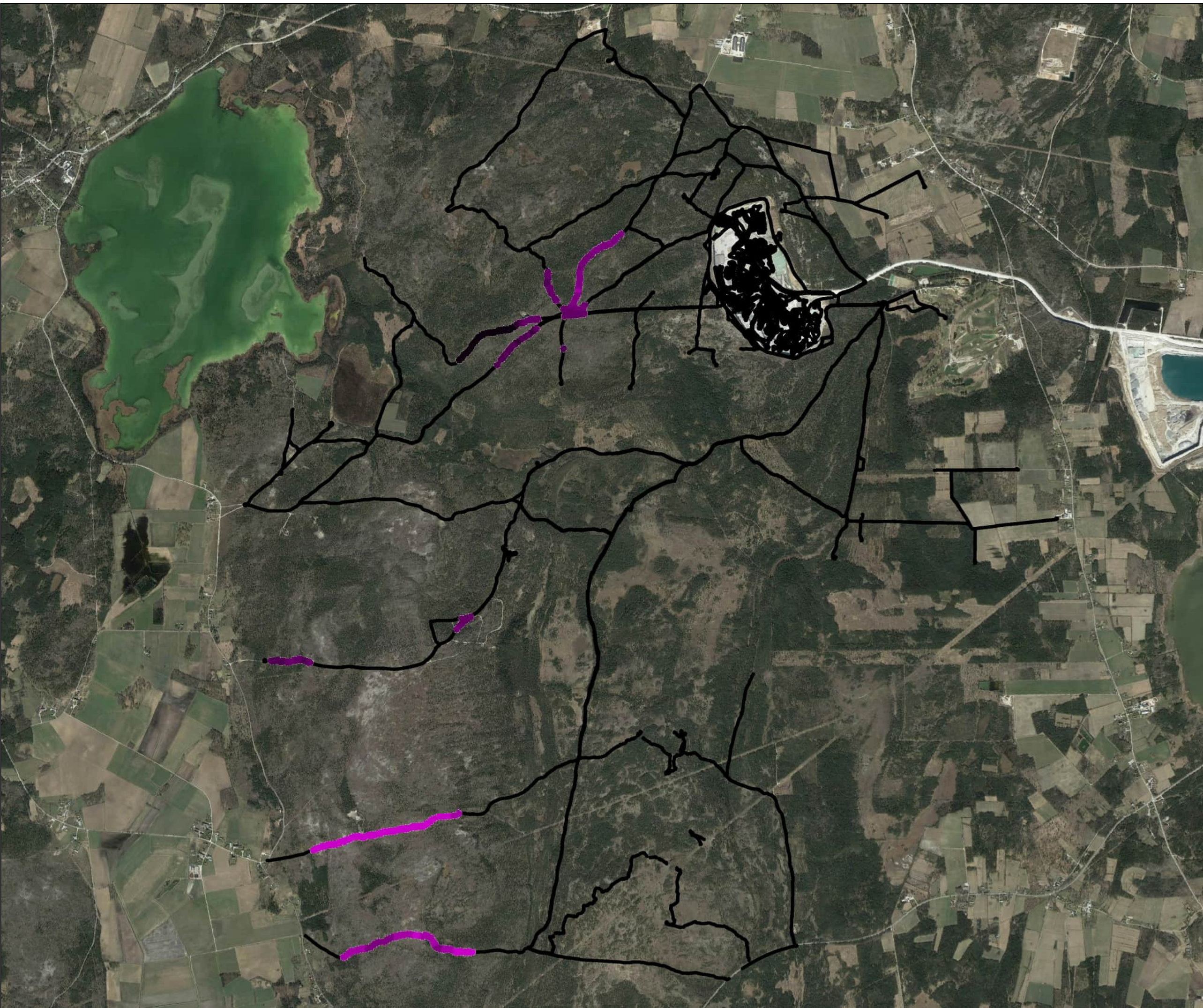


## **BILAGA**

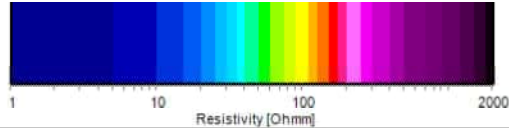
- B**
- 1) MEDELMOTSTÅNDSKARTA,  
TTEM**
  - 2) MEDELMOTSTÅNDSKARTA,  
SKYTEM**



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 60 to 65 meters



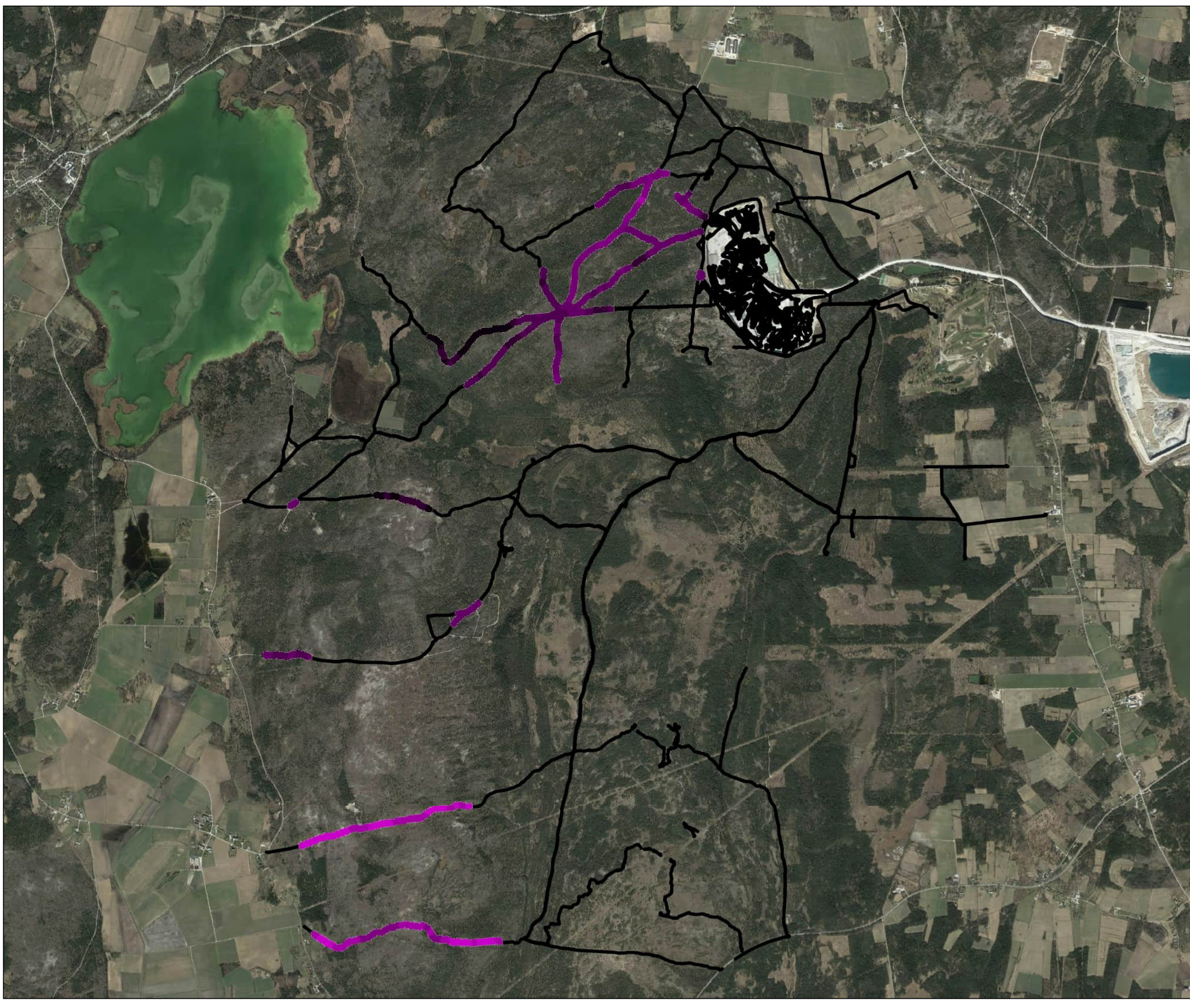
— Collected data  
● Used soundings



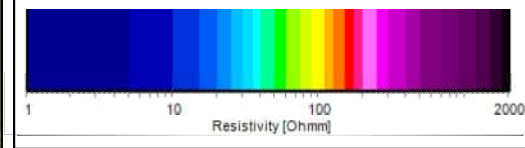
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 55 to 60 meters



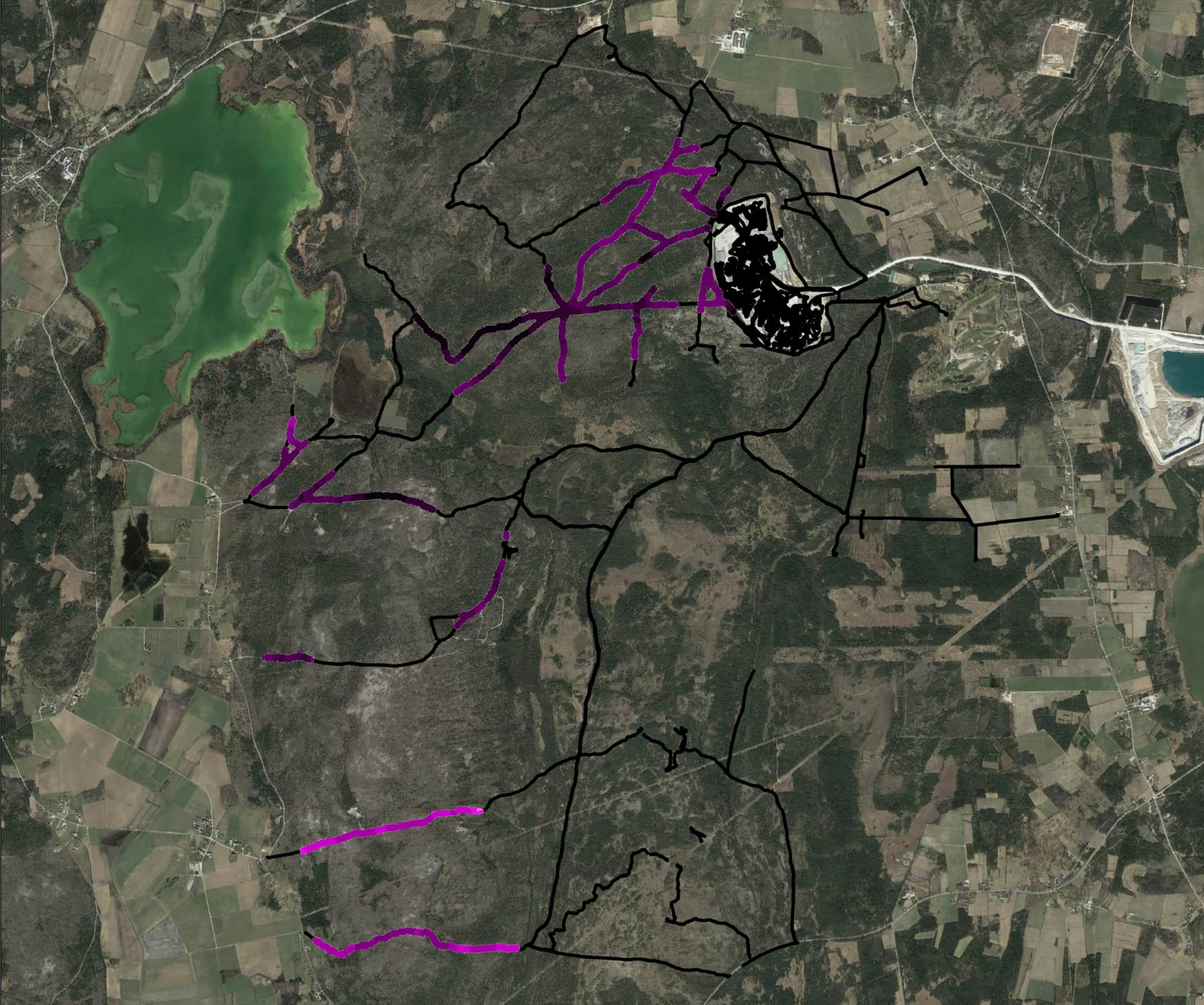
— Collected data  
●●● Used soundings



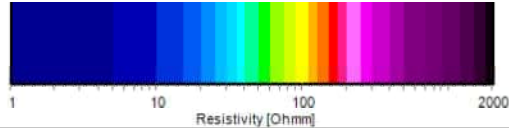
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 50 to 55 meters



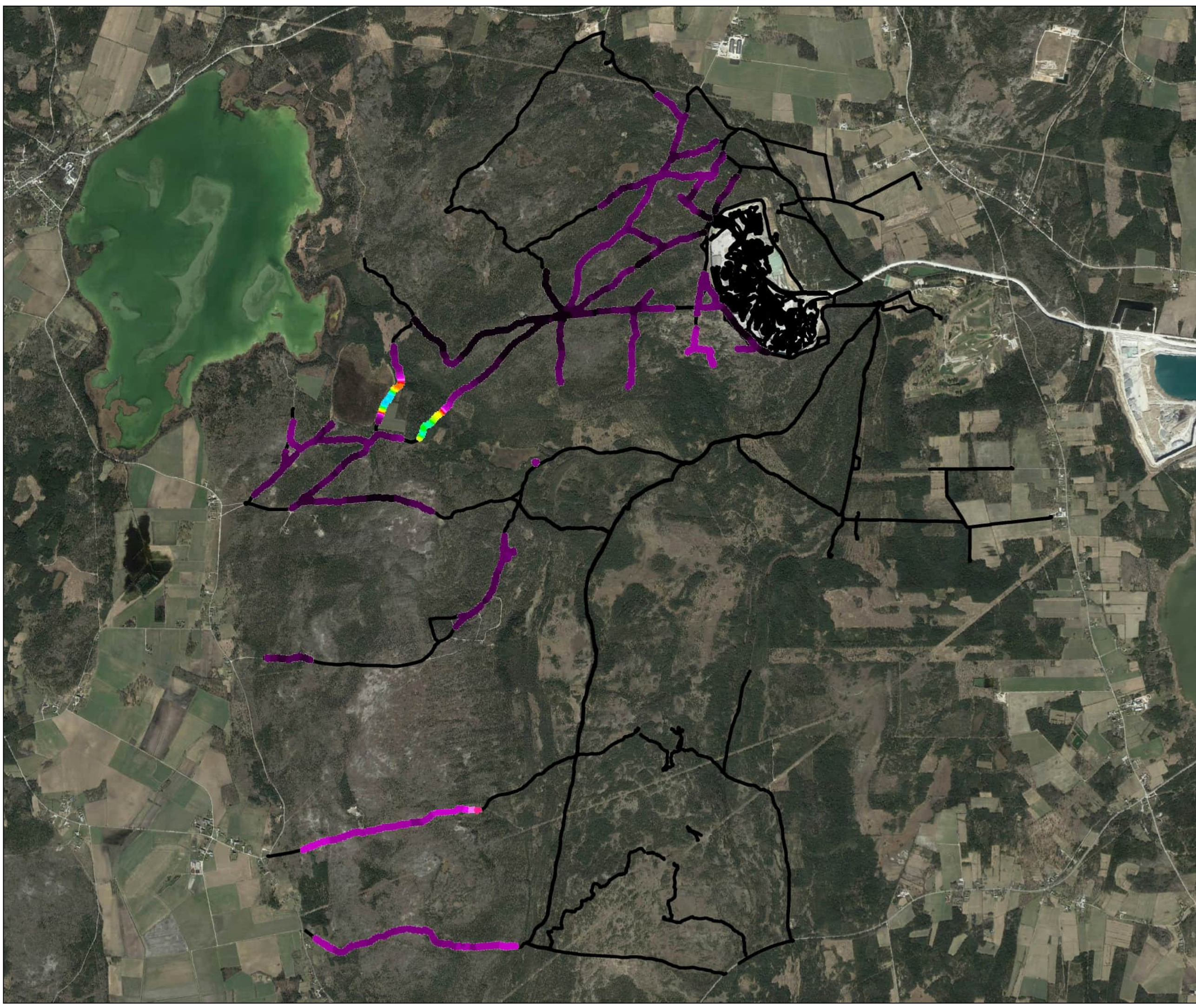
— Collected data  
●●● Used soundings



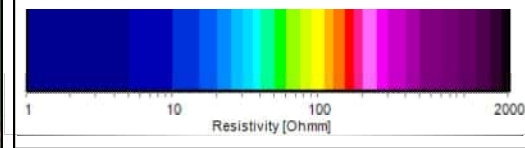
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 45 to 50 meters



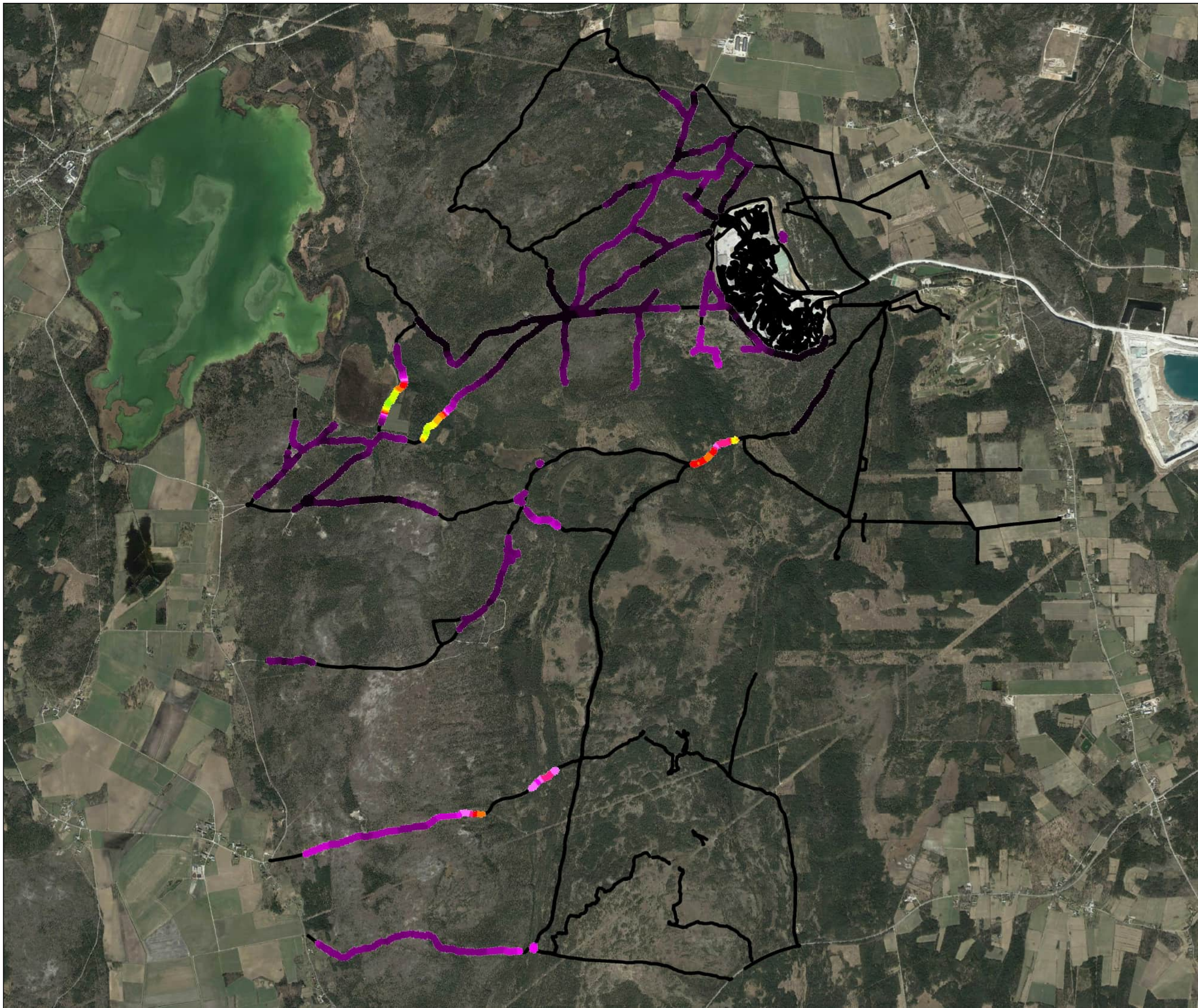
— Collected data  
○○○ Used soundings



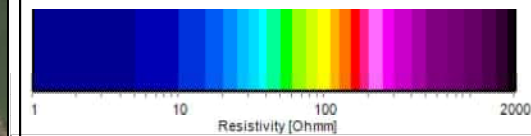
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 40 to 45 meters



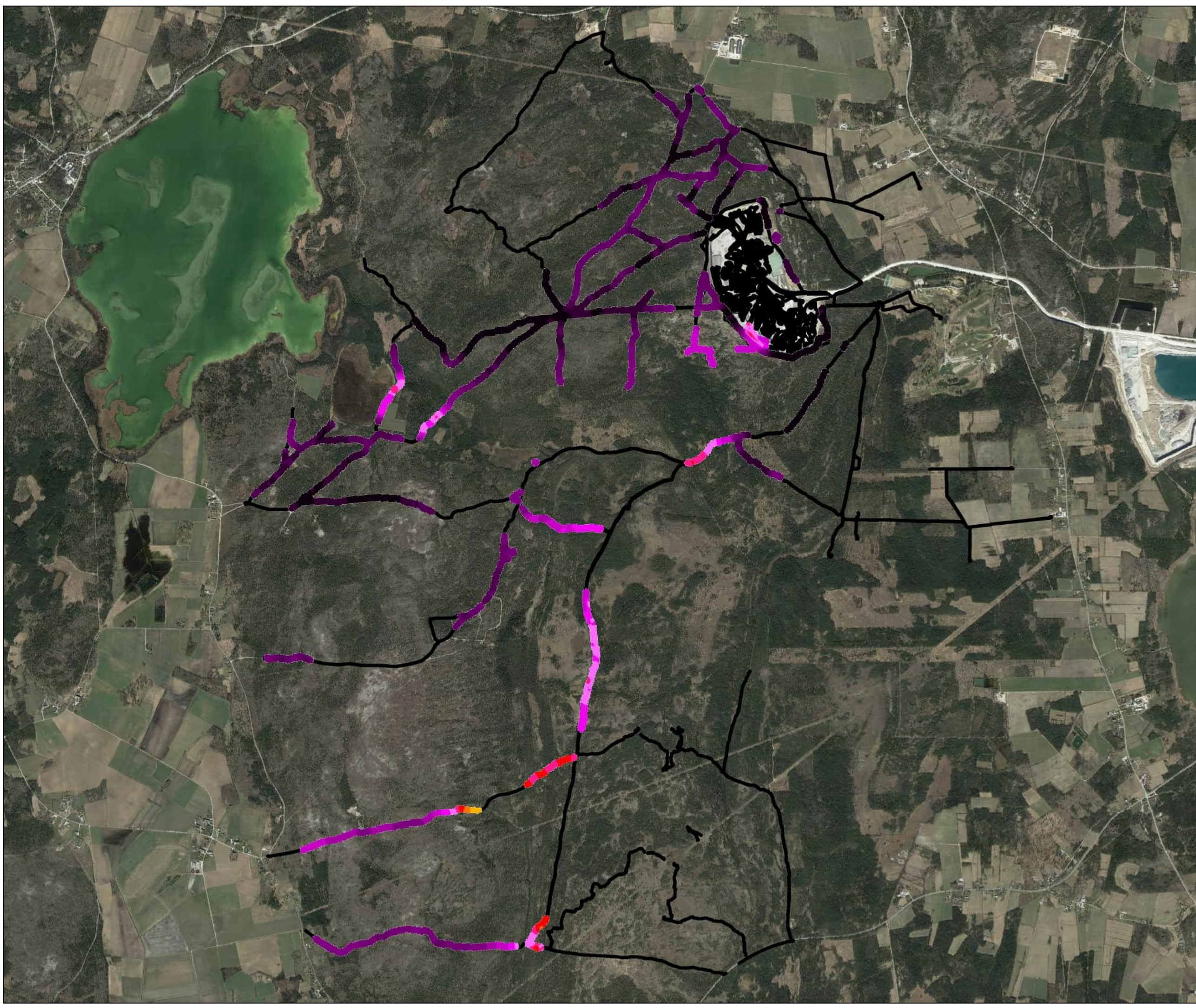
— Collected data  
— Used soundings



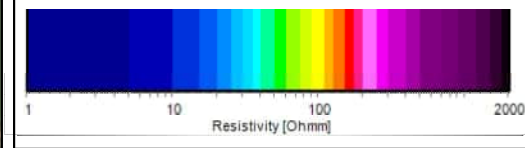
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 35 to 40 meters



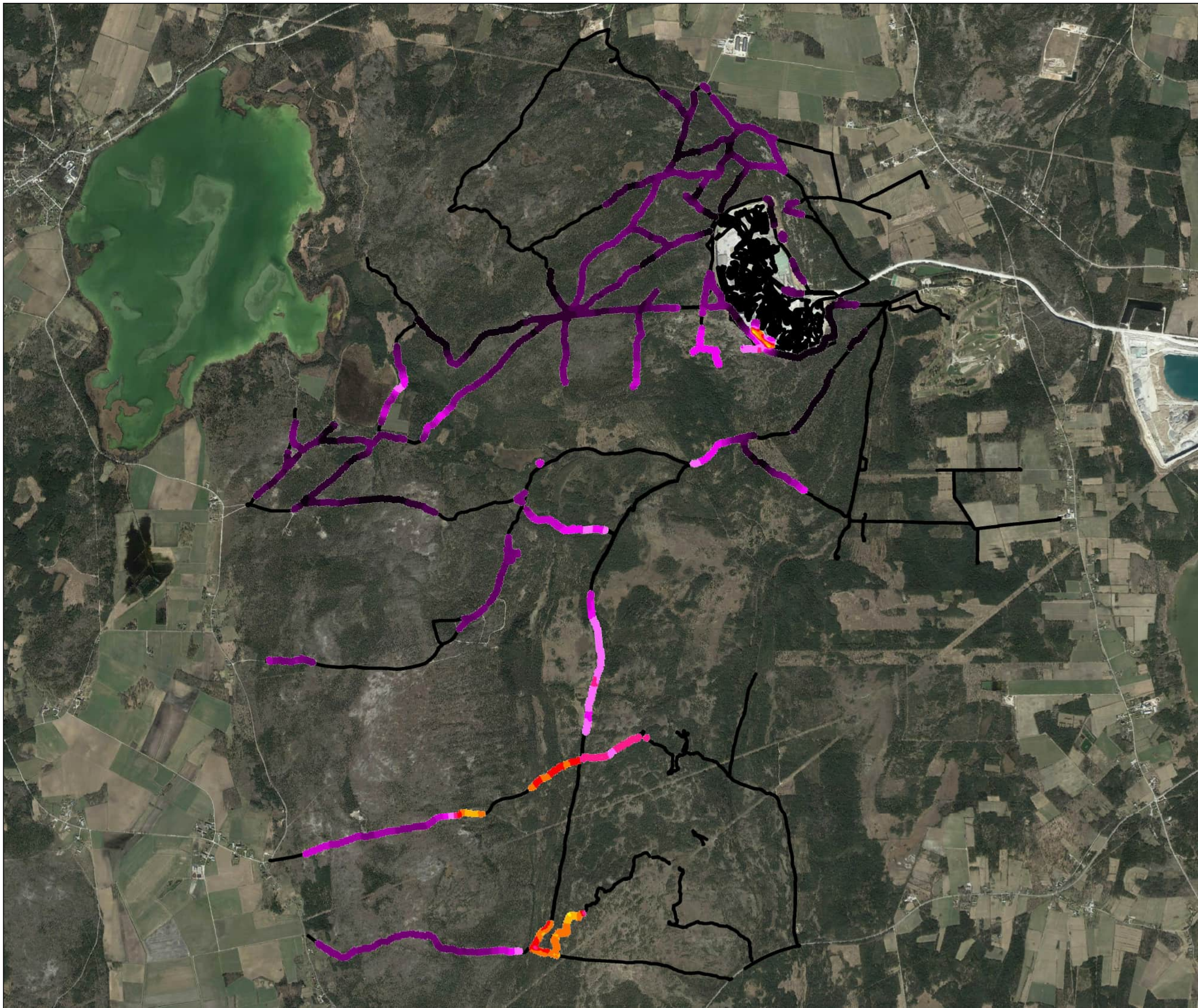
— Collected data  
●●● Used soundings



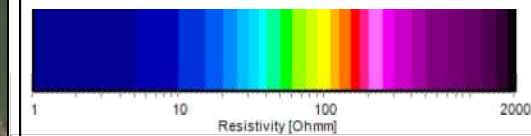
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 30 to 35 meters



— Collected data  
— Used soundings



Project no. 22001822

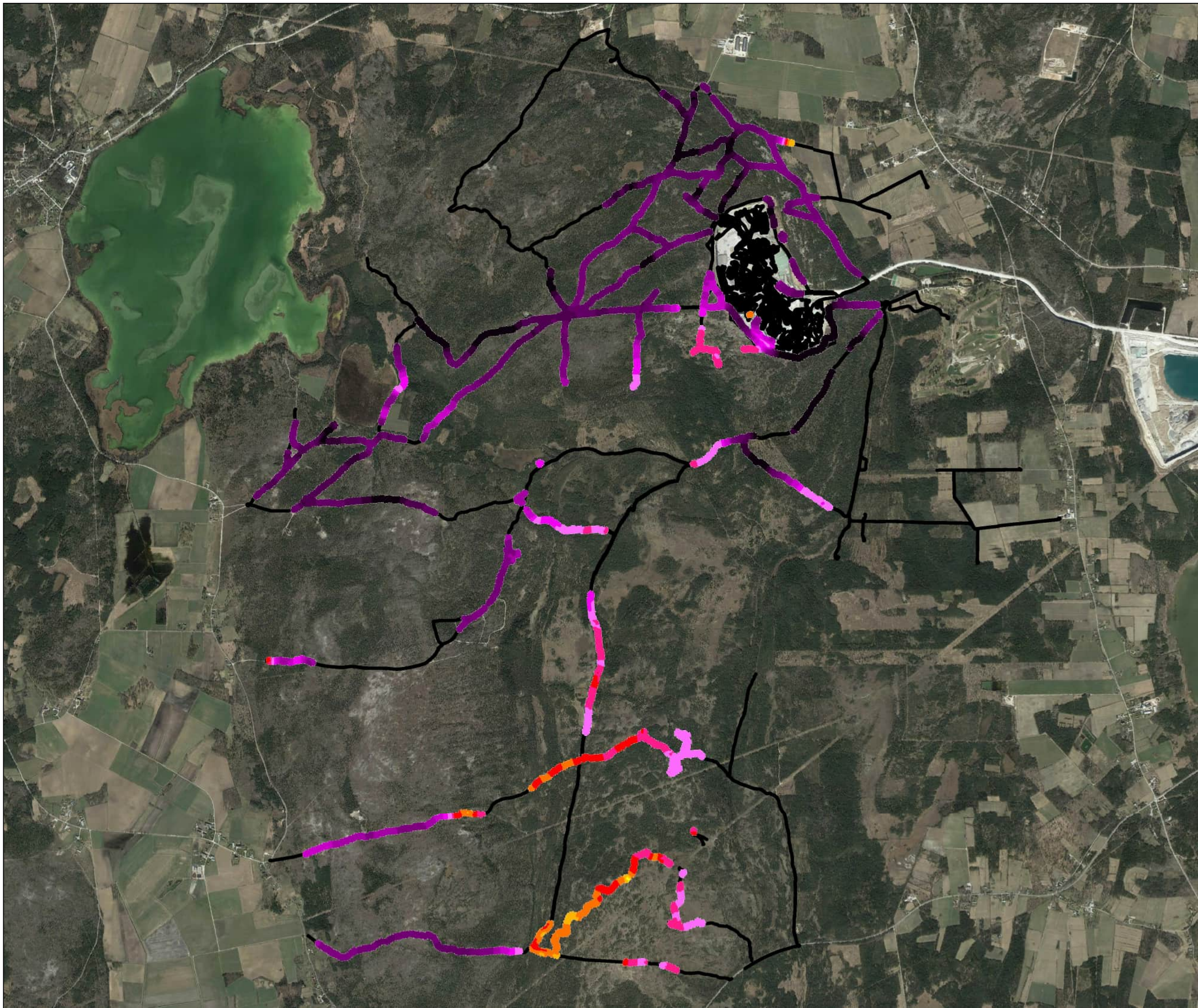
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

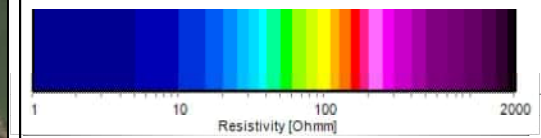
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 25 to 30 meters



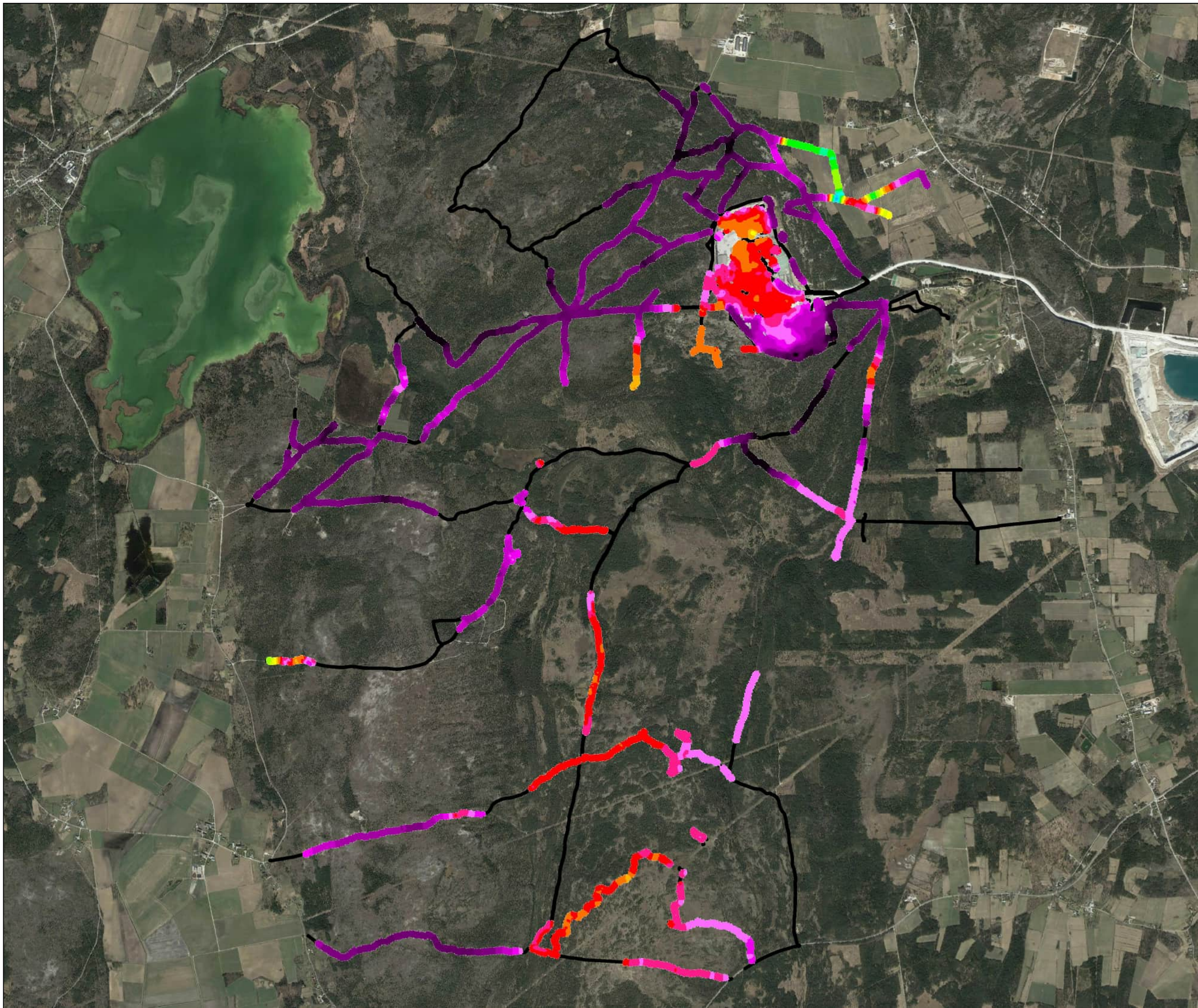
— Collected data  
● Used soundings



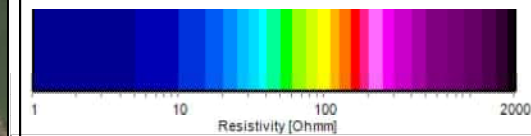
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 20 to 25 meters



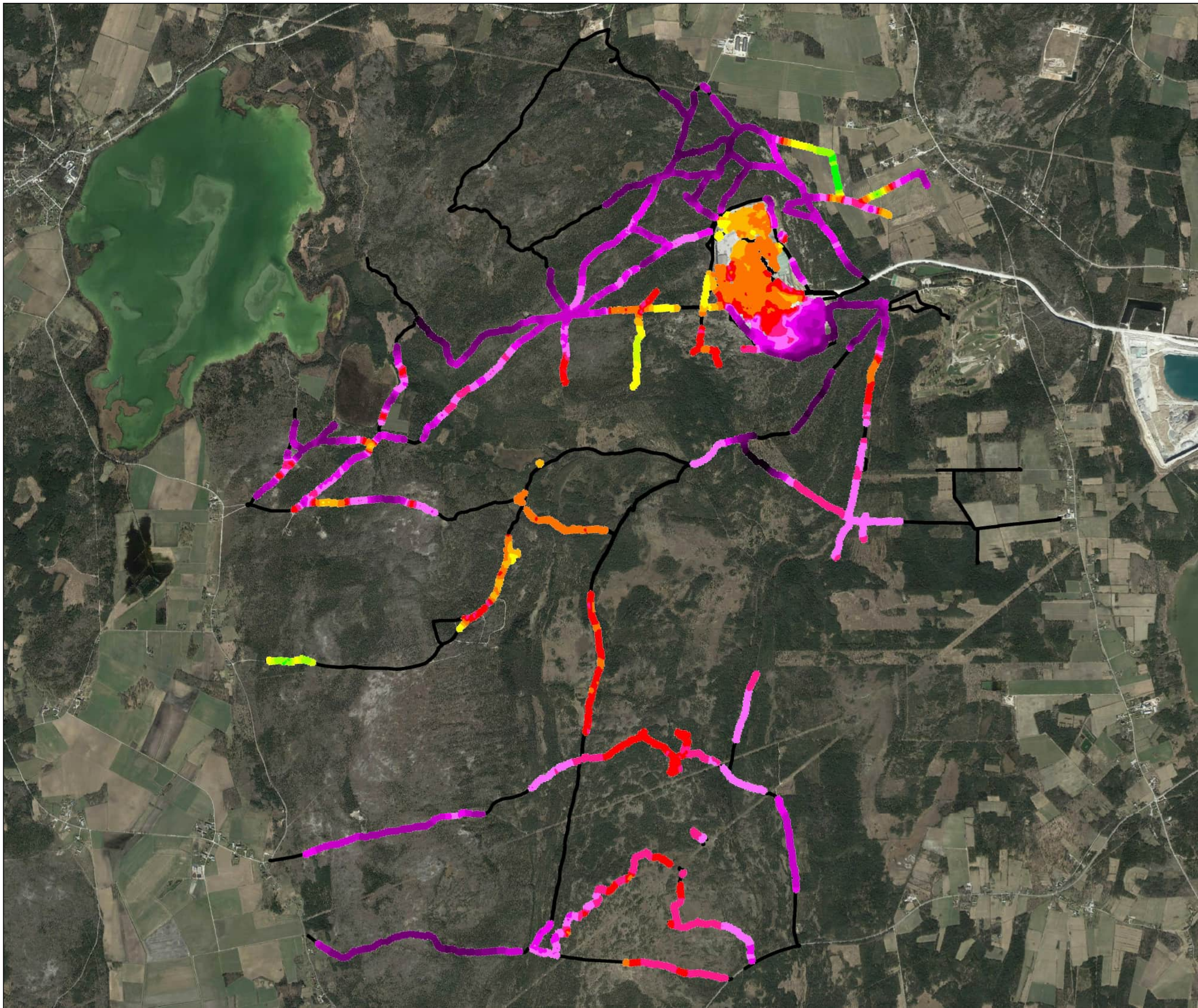
— Collected data  
○○○ Used soundings



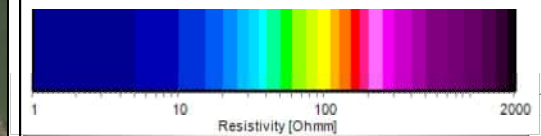
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 10 to 20 meters



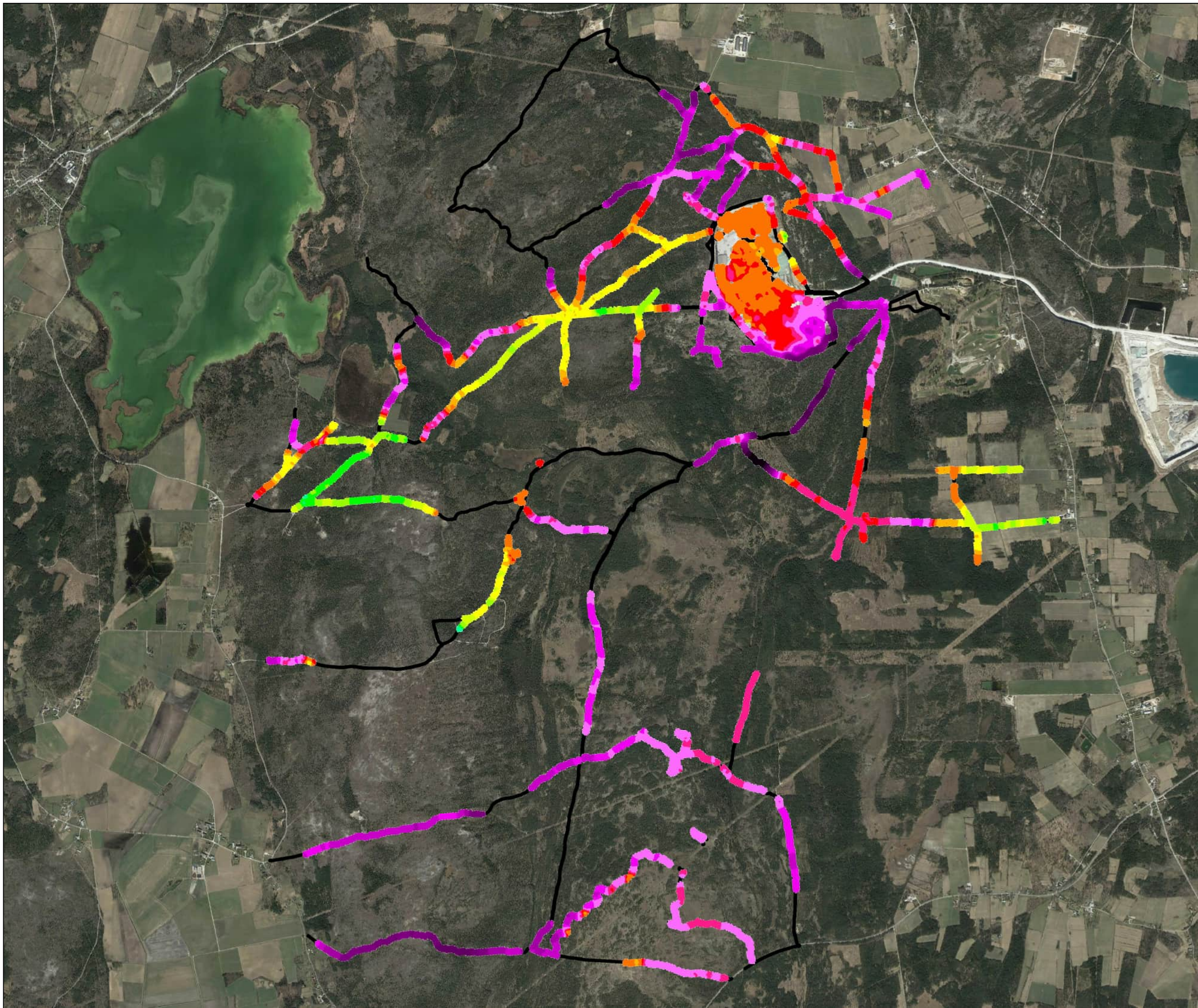
— Collected data  
○○○ Used soundings



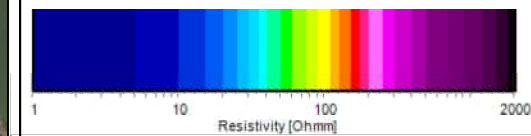
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation 0 to 10 meters



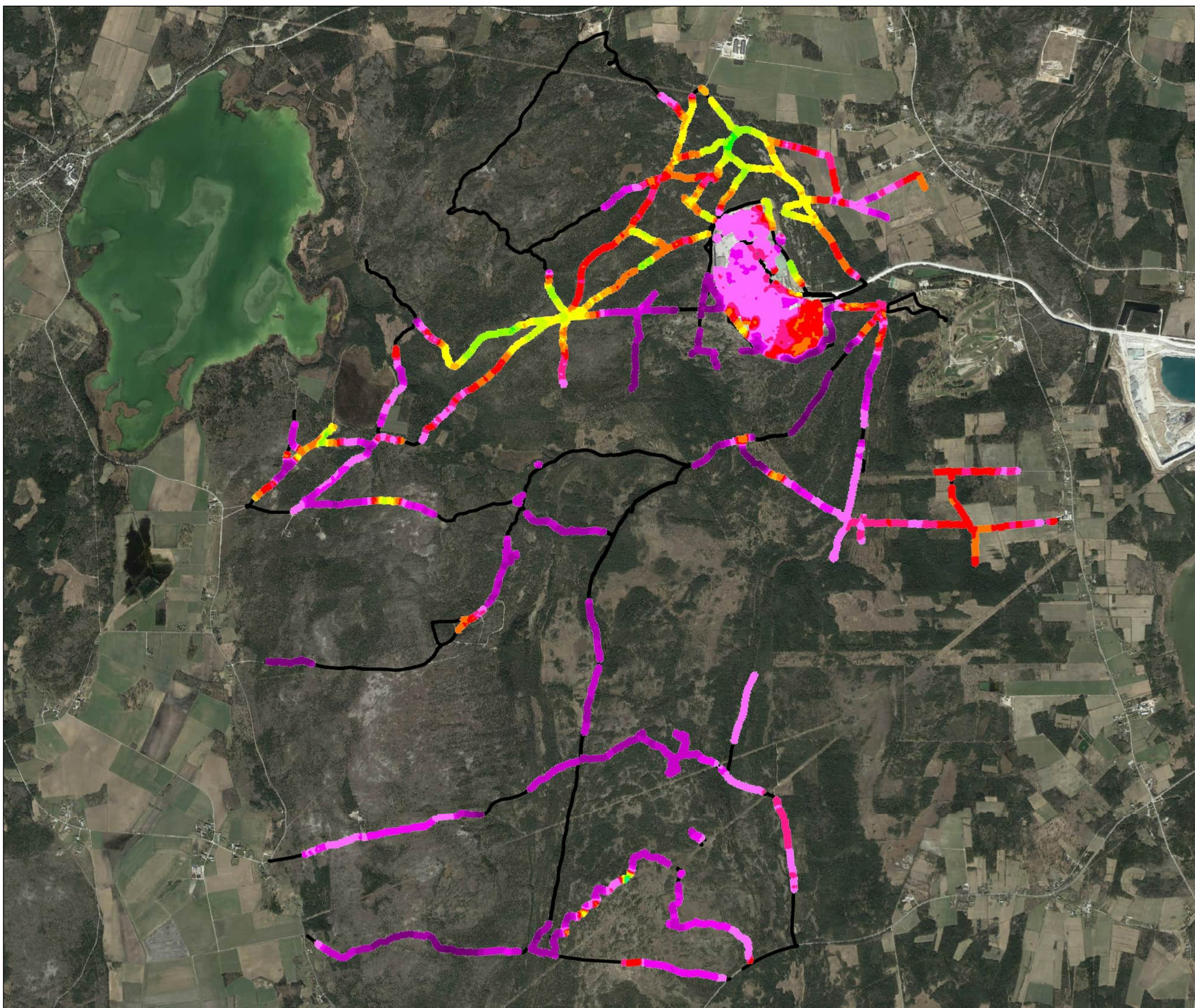
— Collected data  
● Used soundings



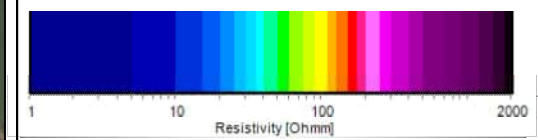
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -10 to 0 meters



— Collected data  
● Used soundings



Project no. 22001822

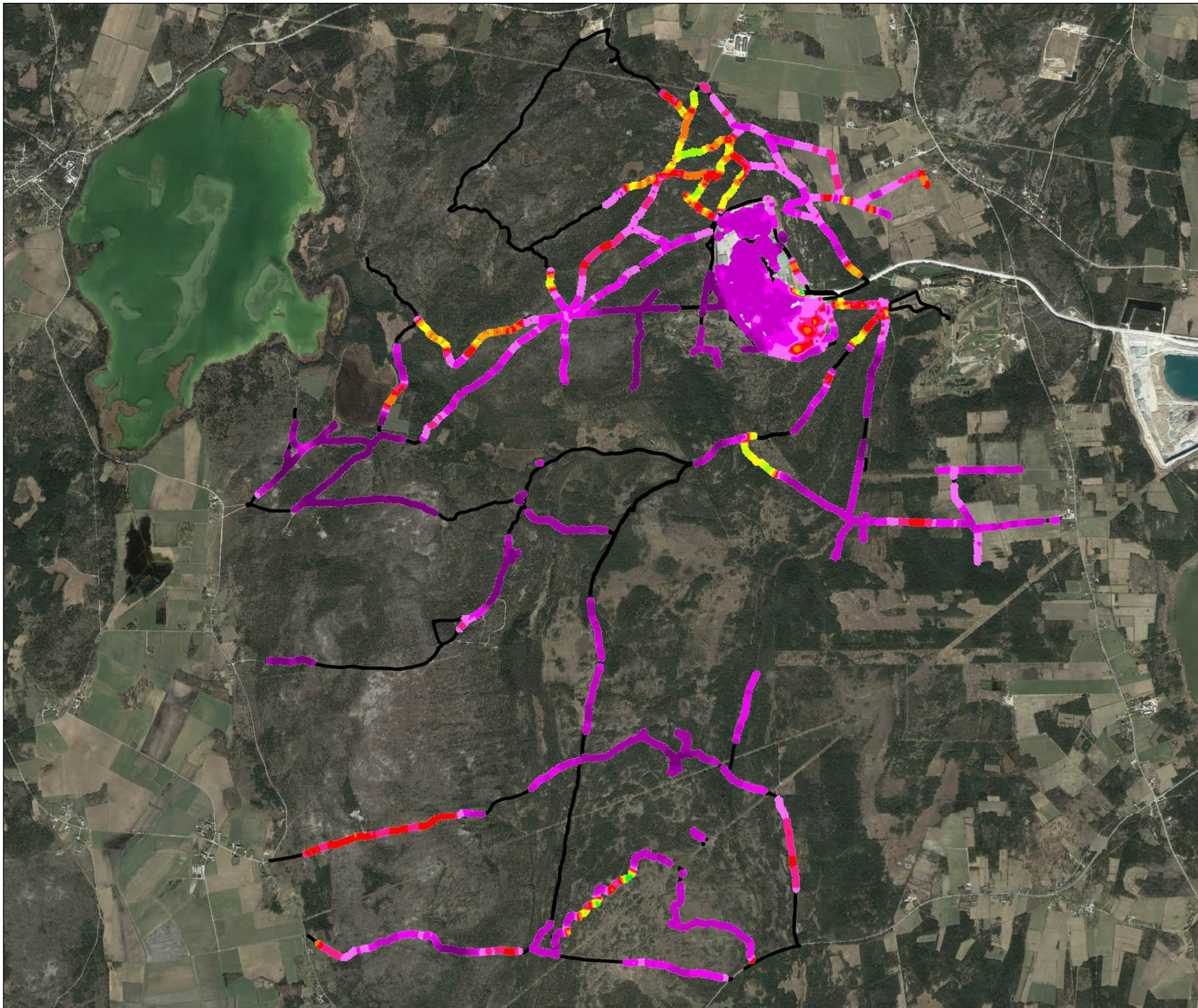
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

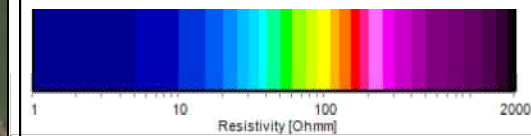
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -20 to -10 meters



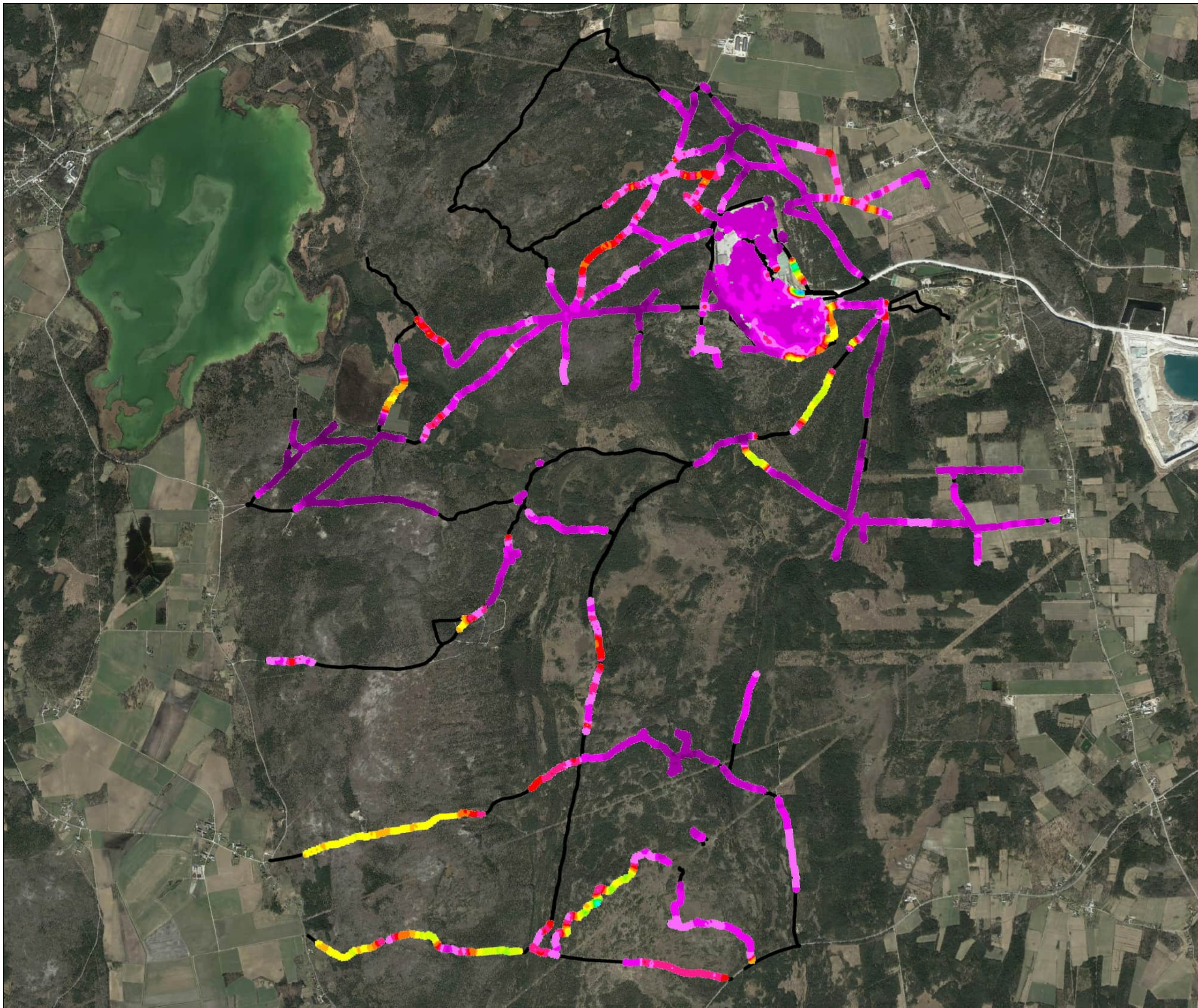
— Collected data  
○○○ Used soundings



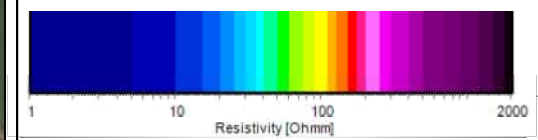
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -30 to -20 meters



— Collected data  
○○○ Used soundings



Project no. 22001822

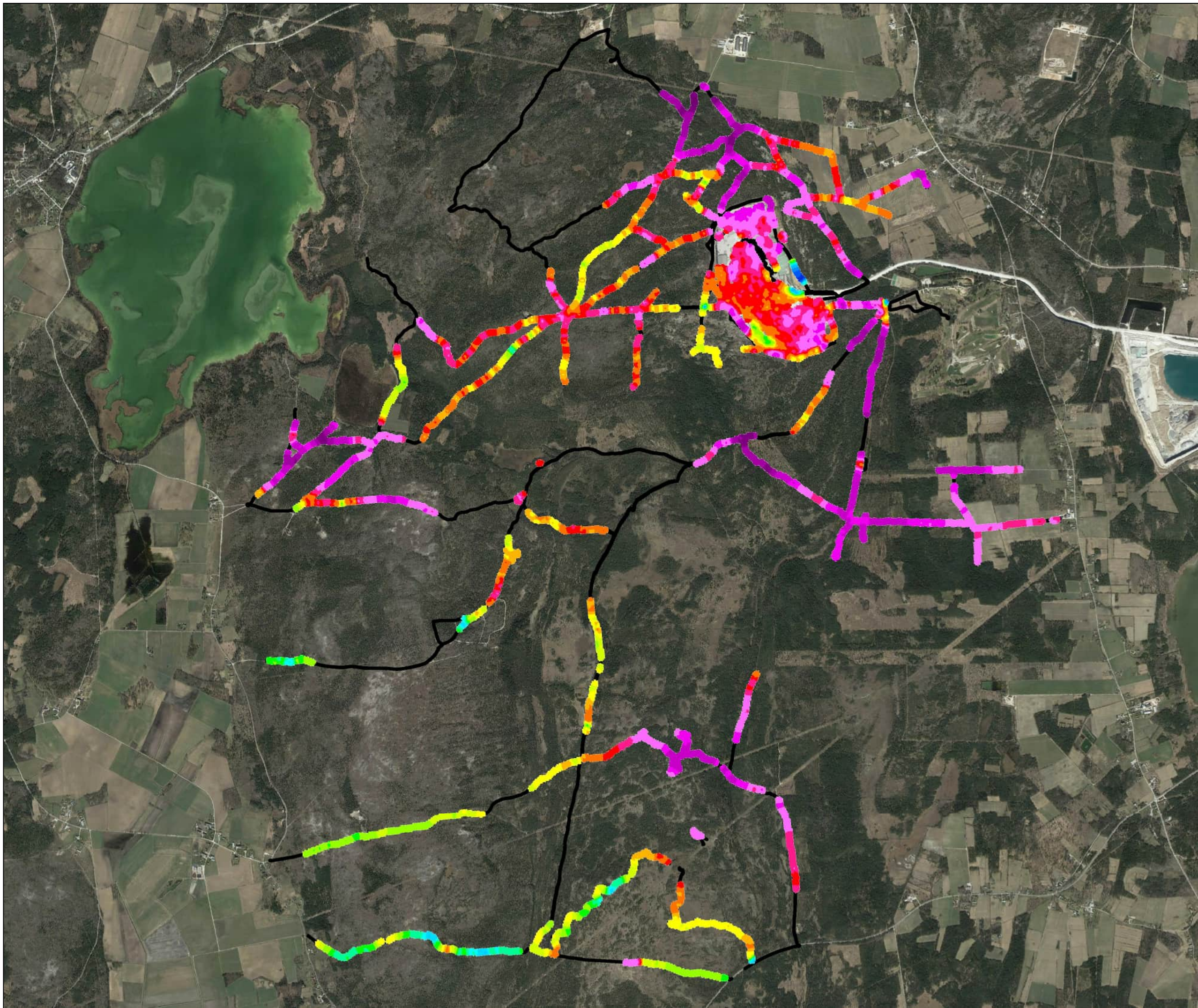
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

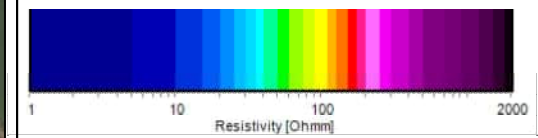
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -40 to -30 meters



— Collected data  
○○○ Used soundings



Project no. 22001822

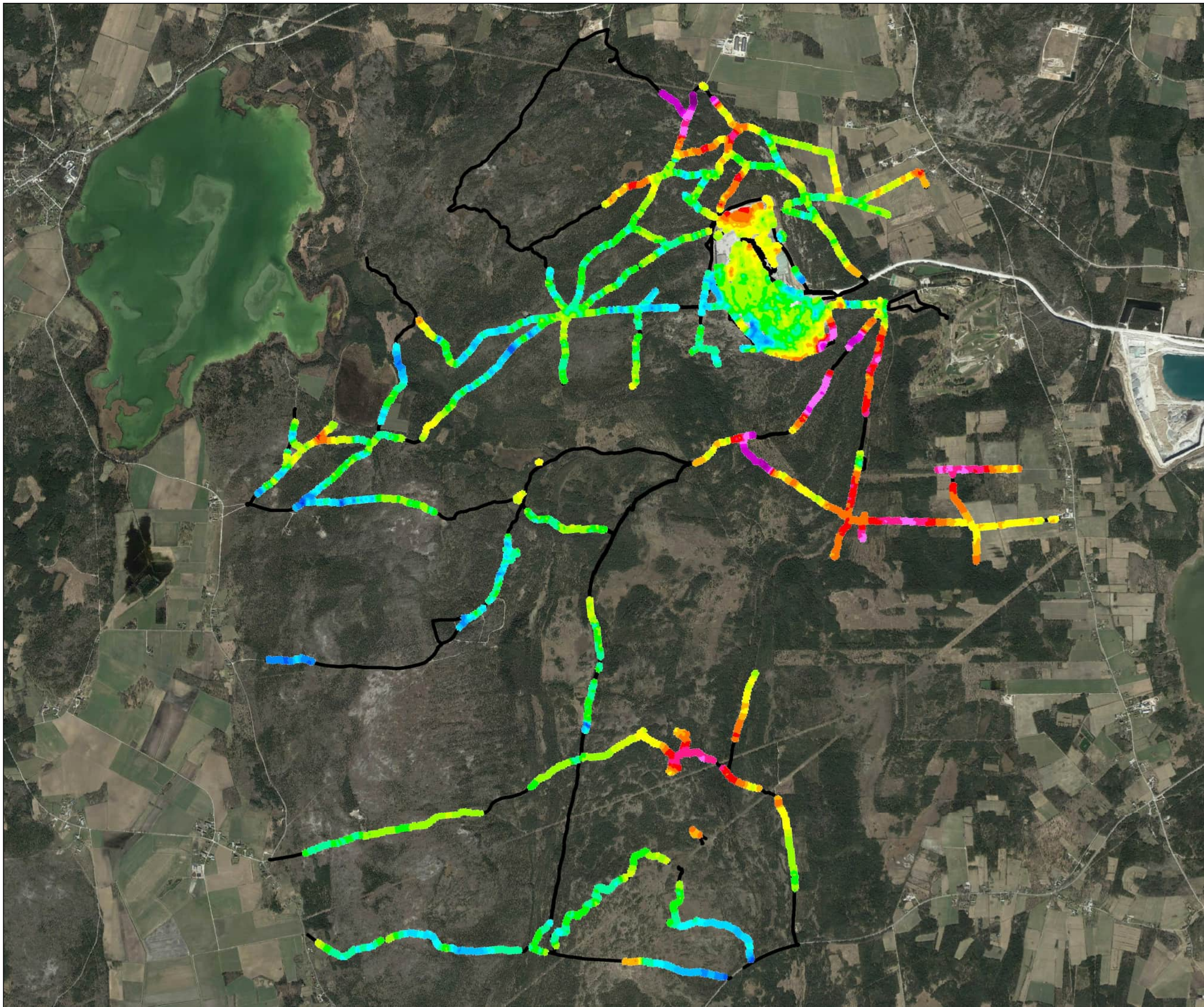
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

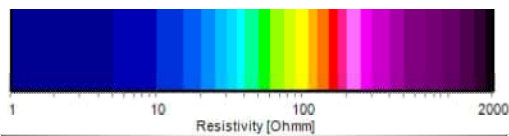
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -50 to -40 meters



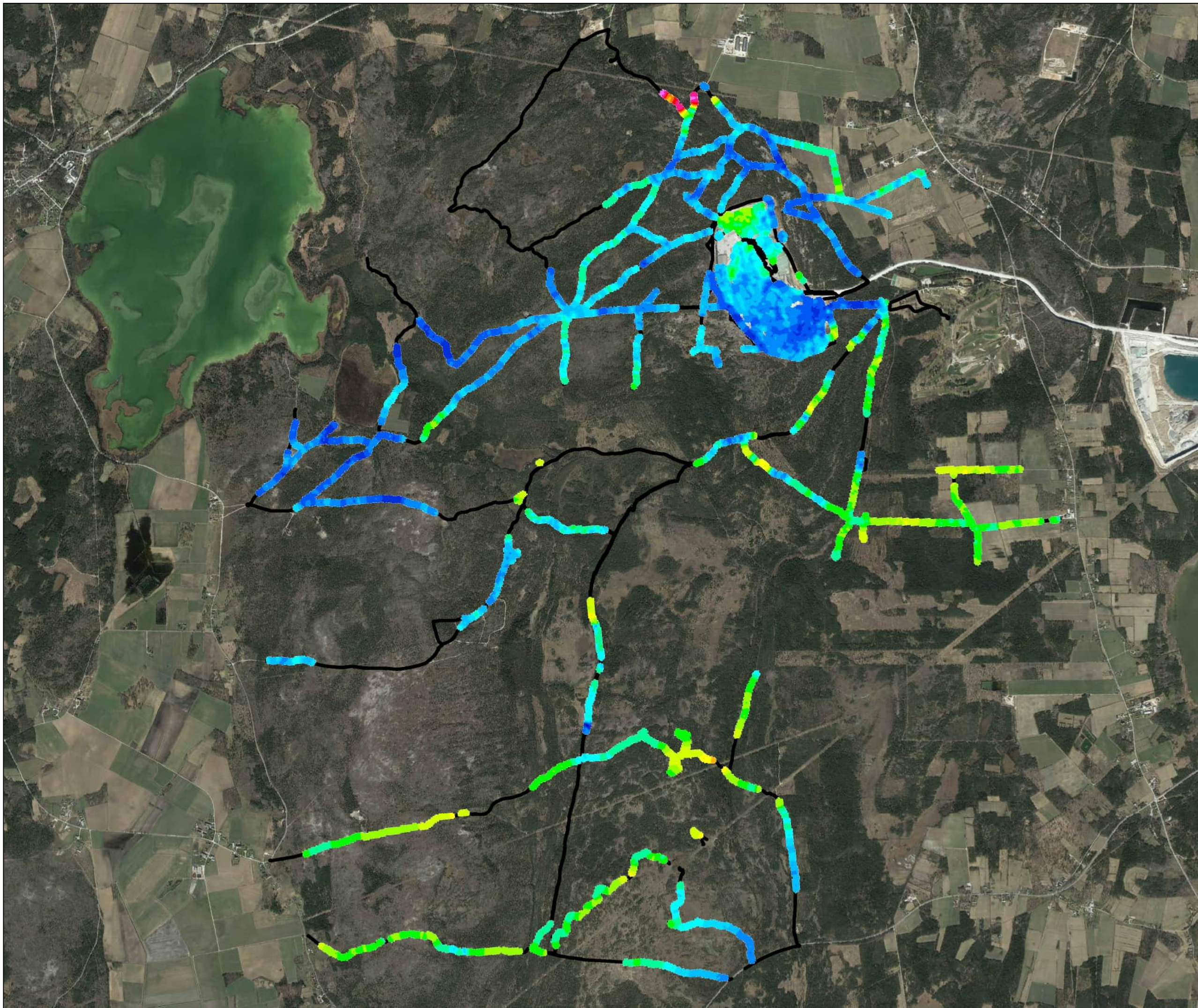
— Collected data  
● Used soundings



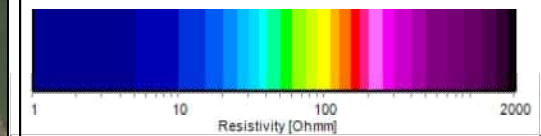
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -60 to -50 meters



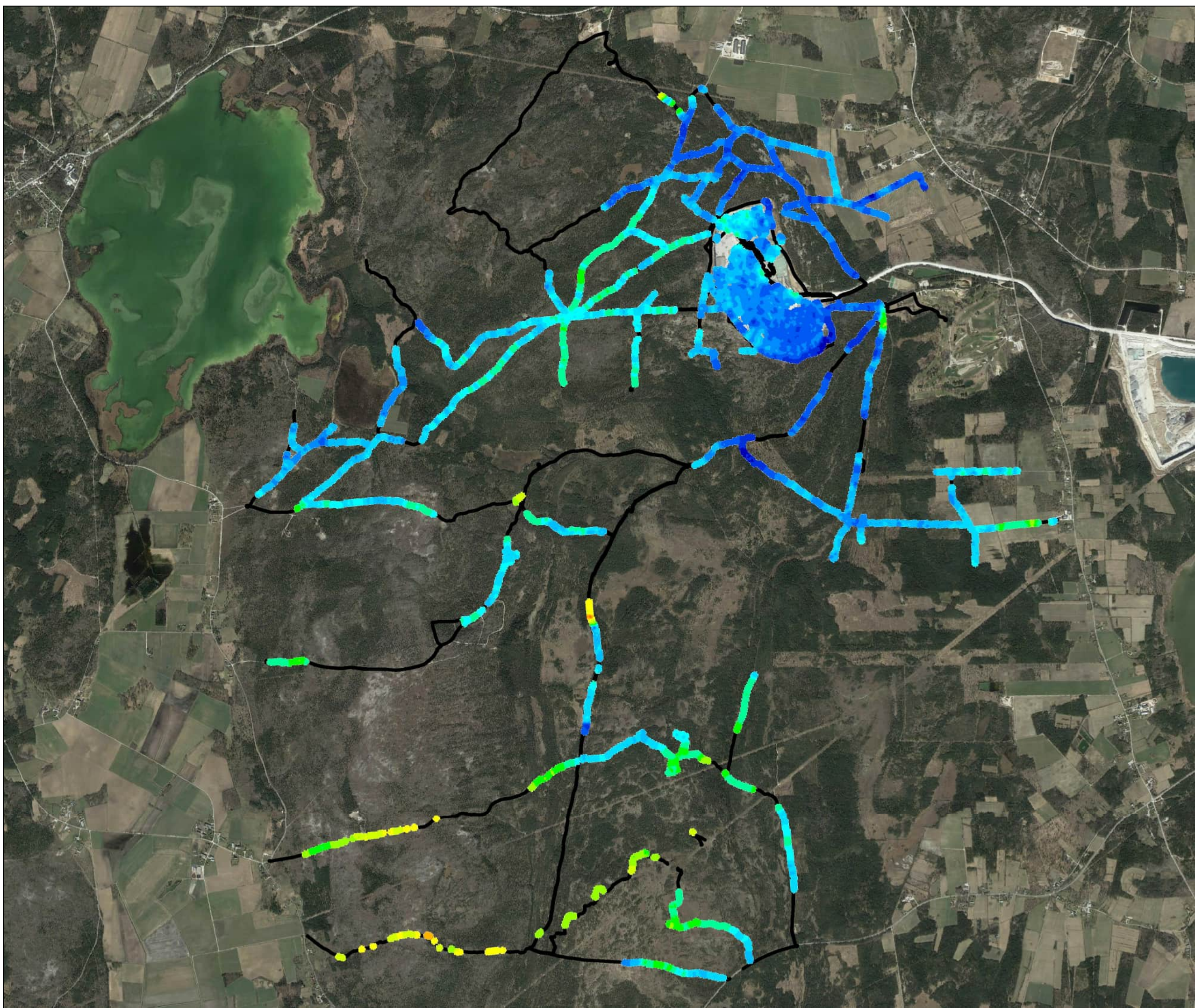
— Collected data  
○○○ Used soundings



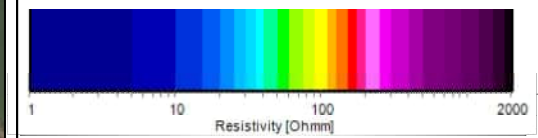
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -70 to -60 meters



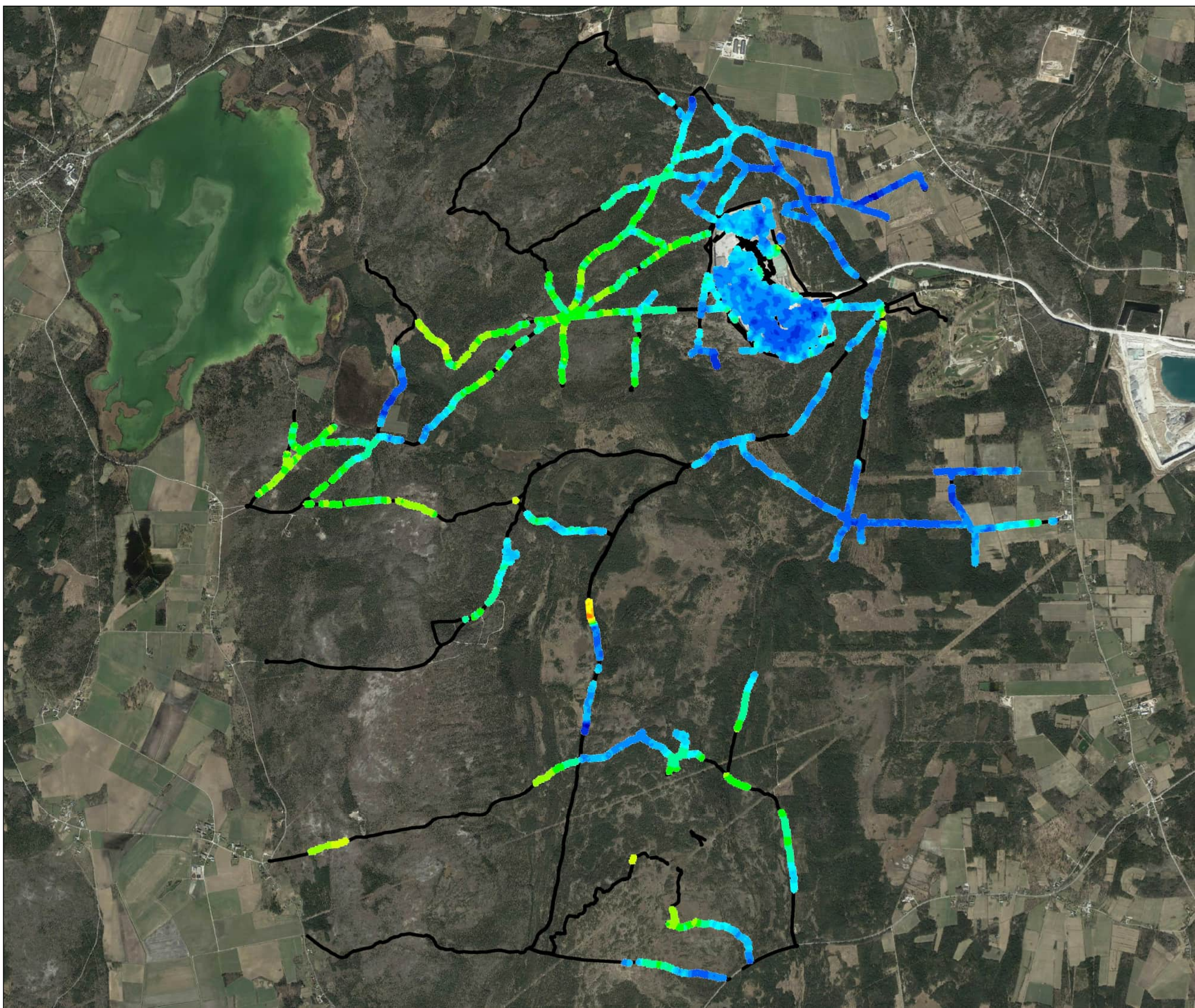
— Collected data  
● Used soundings



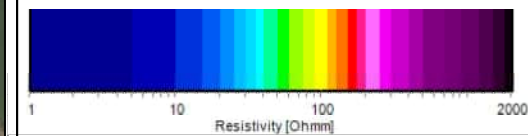
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -80 to -70 meters



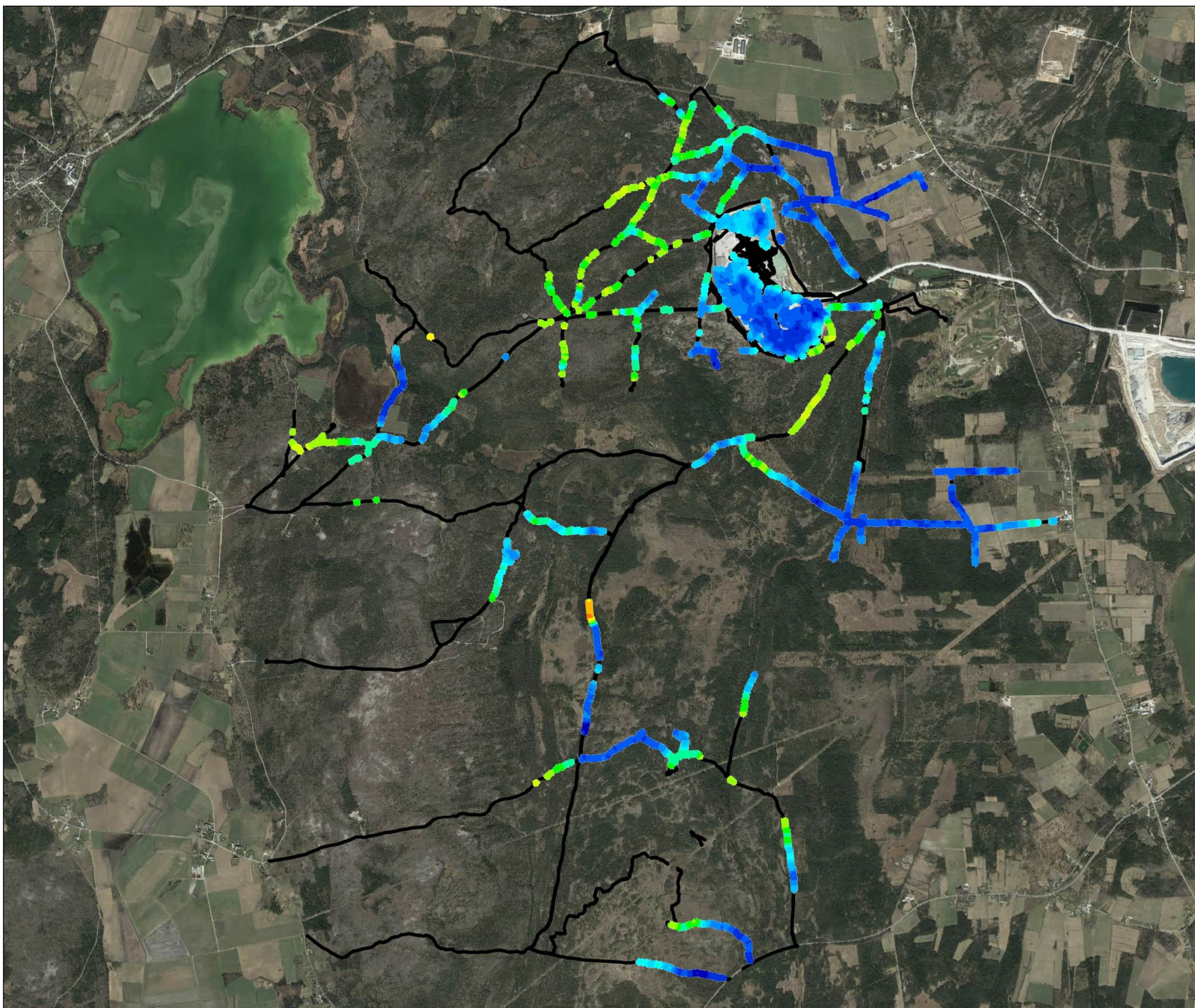
— Collected data  
○○○ Used soundings



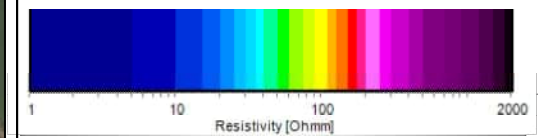
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -90 to -80 meters



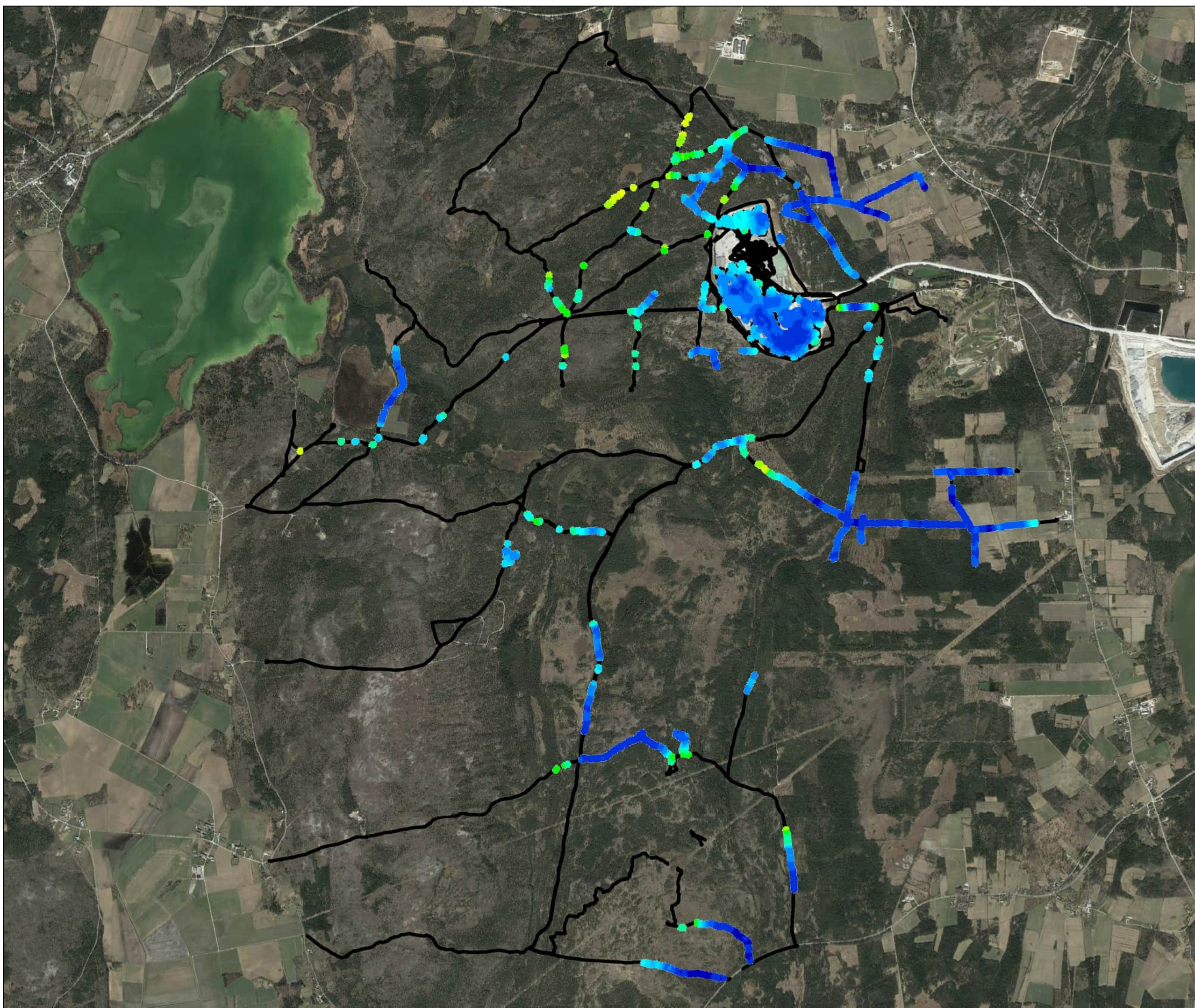
— Collected data  
● Used soundings



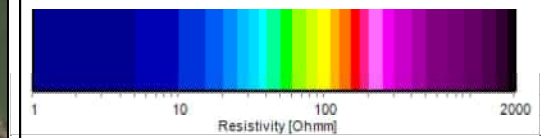
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, tTEM  
Elevation -100 to -90 meters



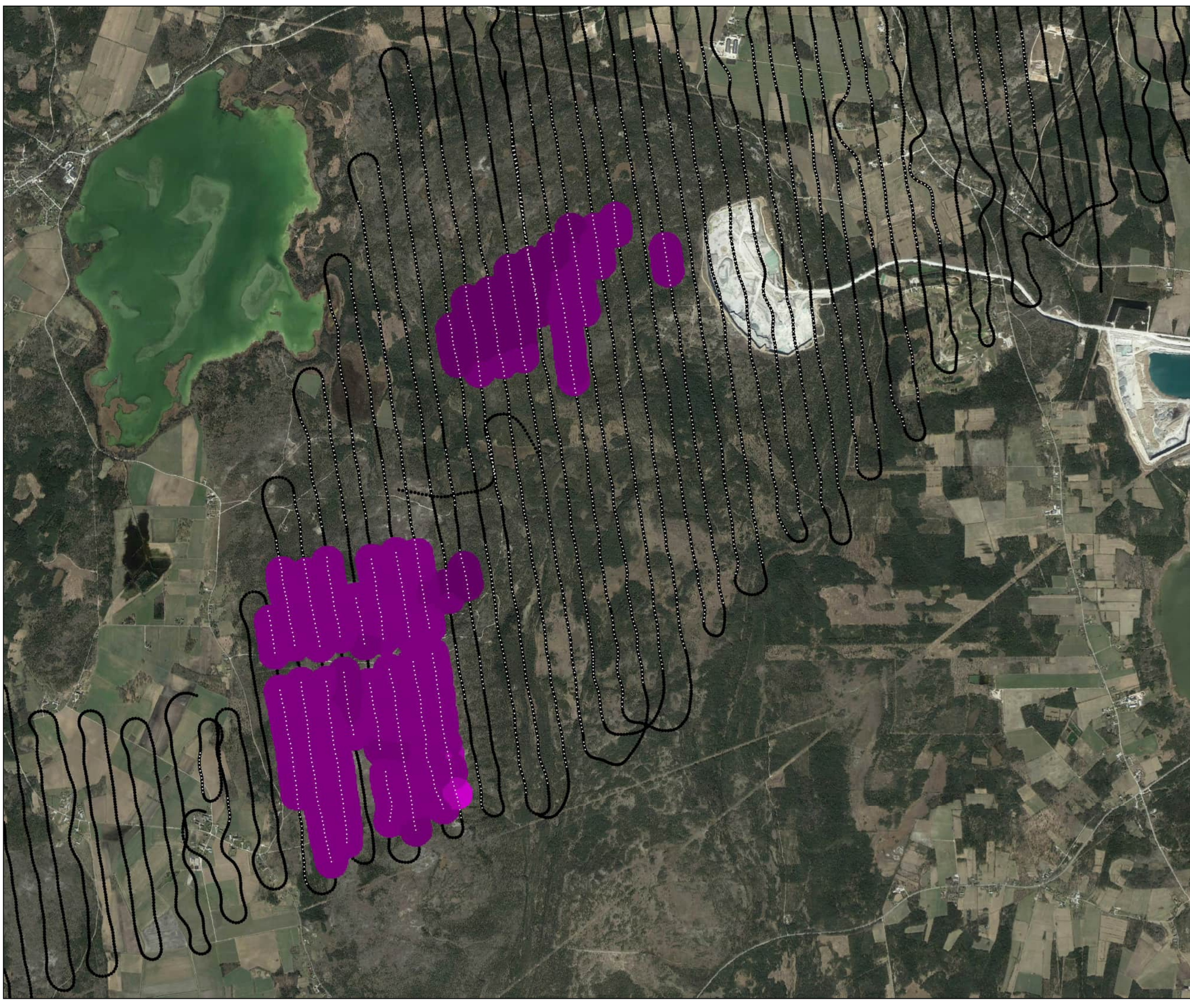
— Collected data  
● Used soundings



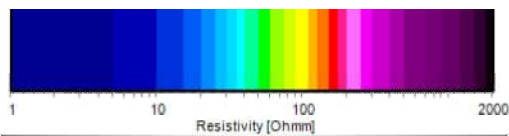
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 60 to 65 meters



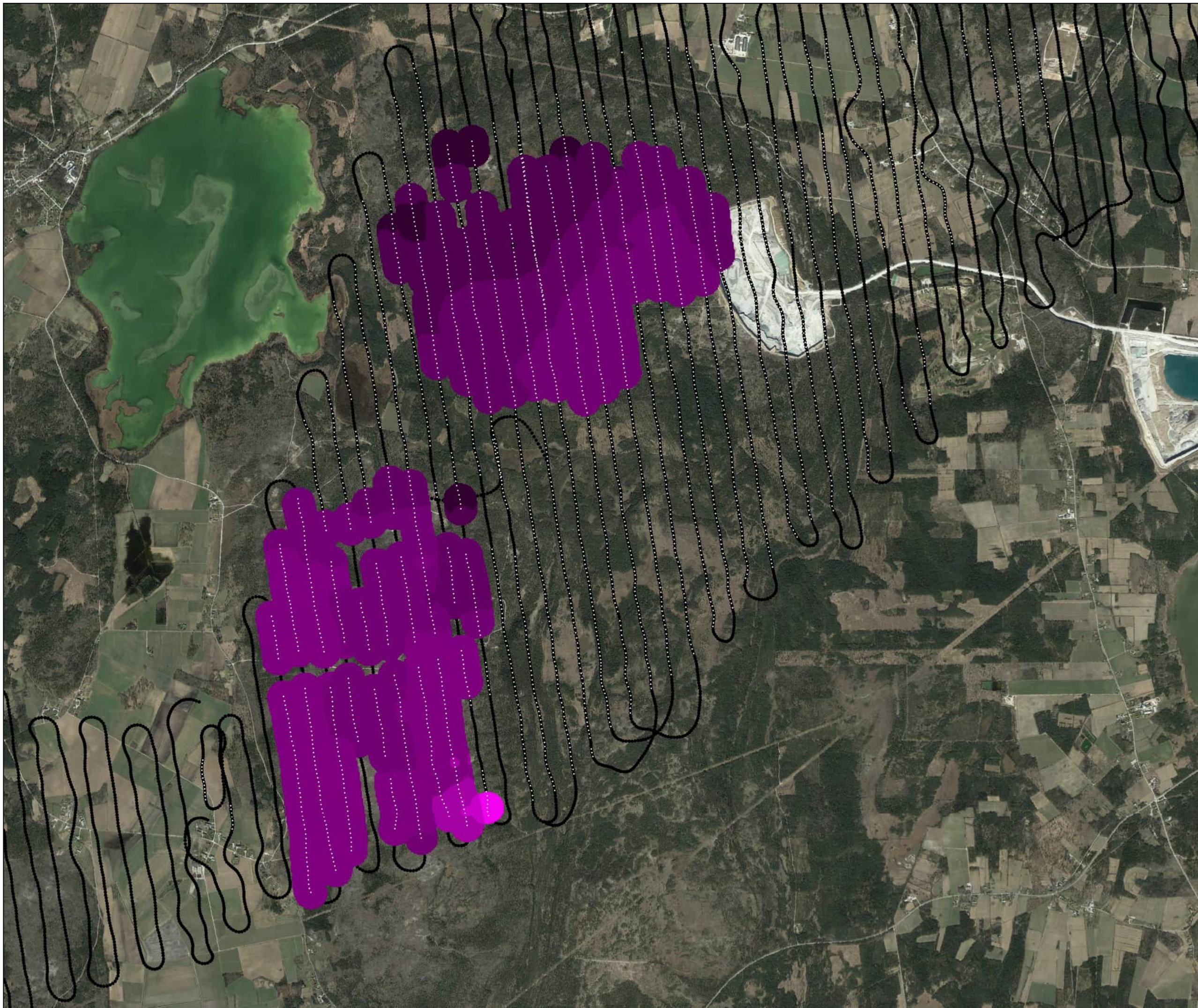
— Collected data  
... Used soundings



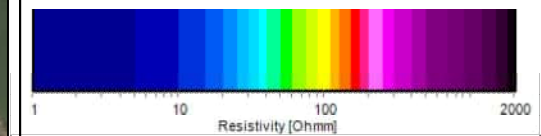
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 55 to 60 meters



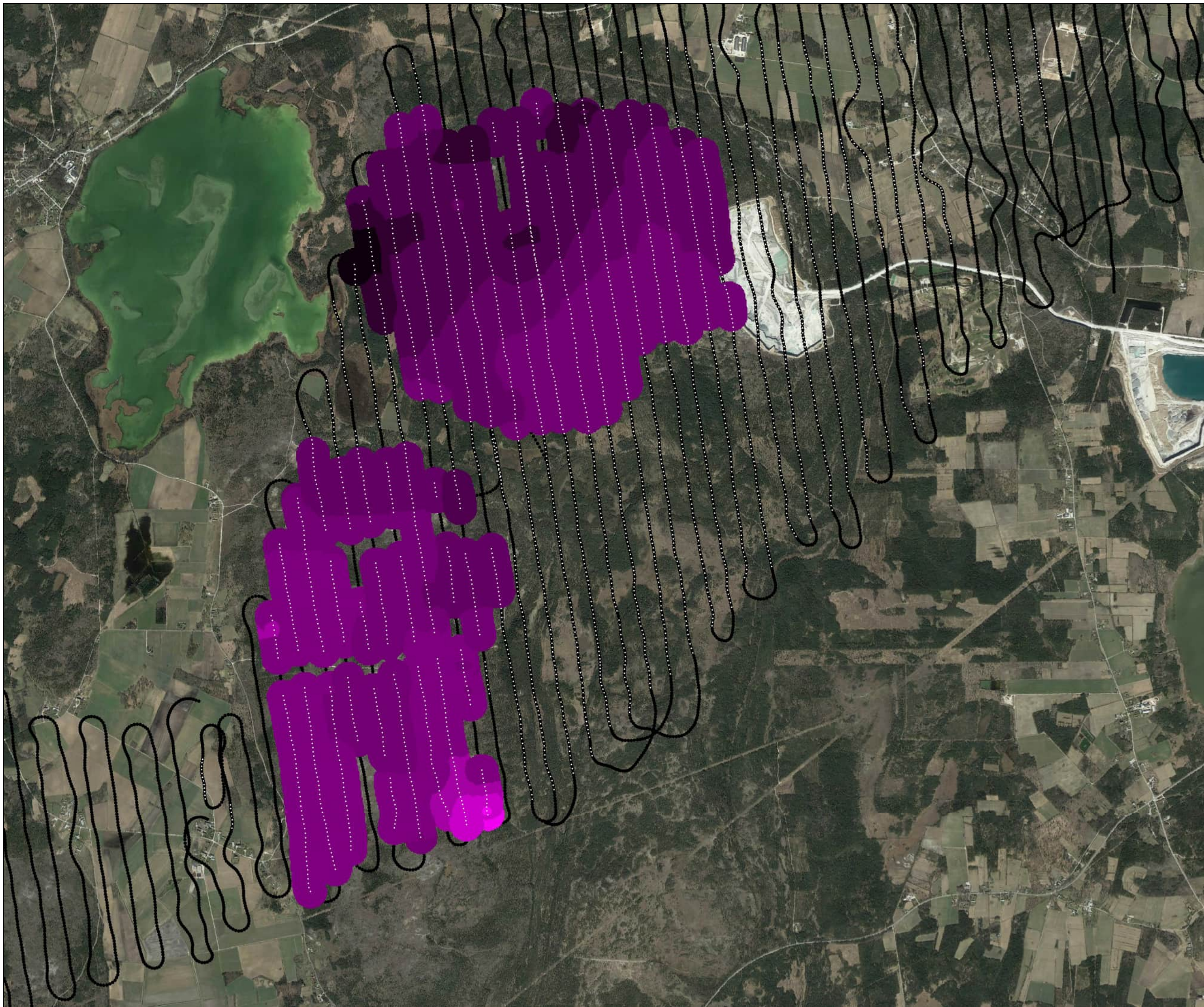
— Collected data  
⋯ Used soundings



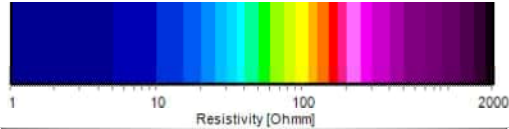
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 50 to 55 meters



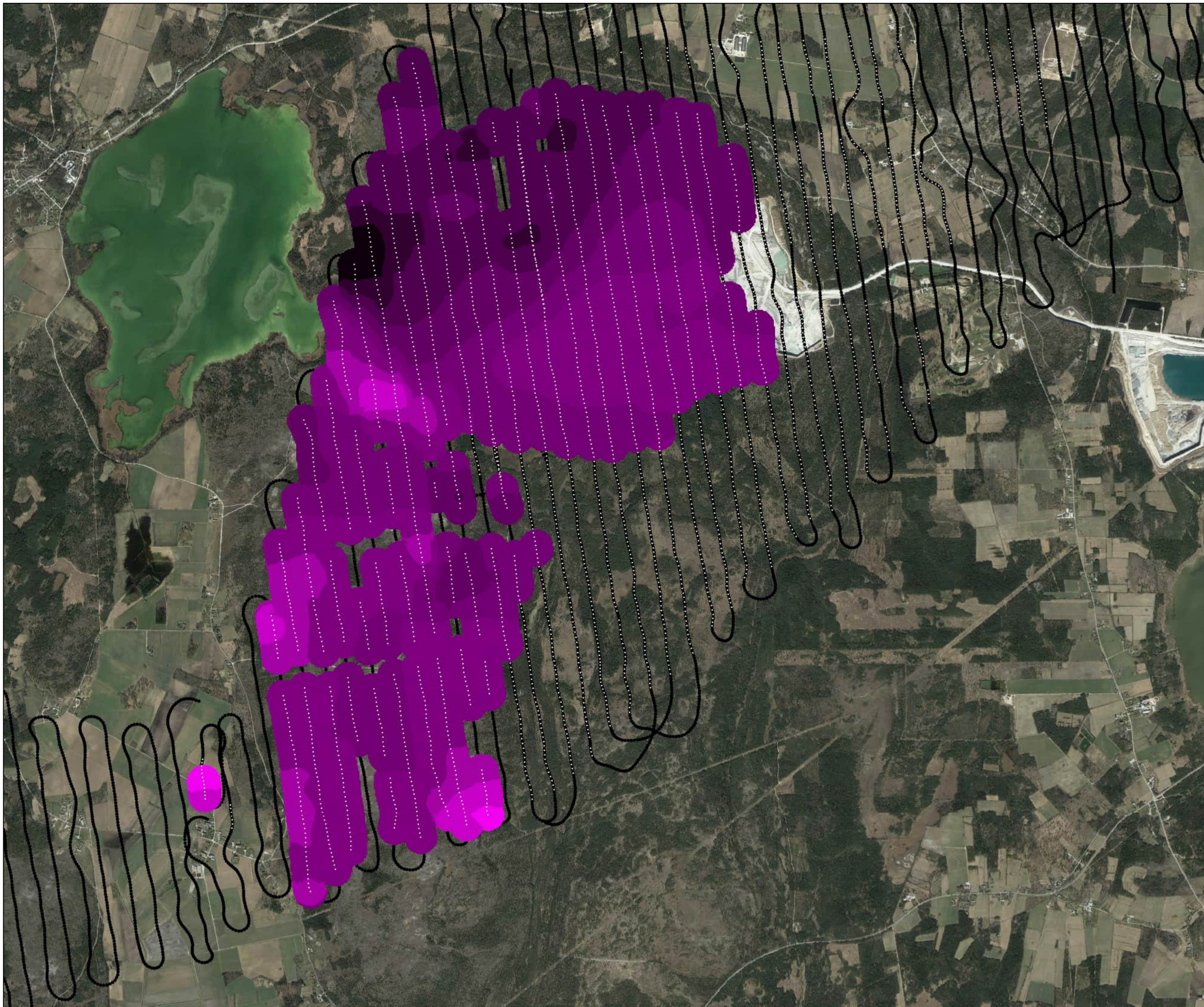
— Collected data  
● Used soundings



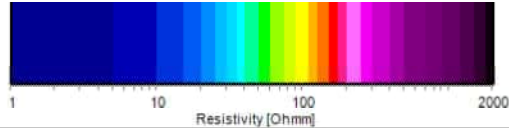
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 45 to 50 meters



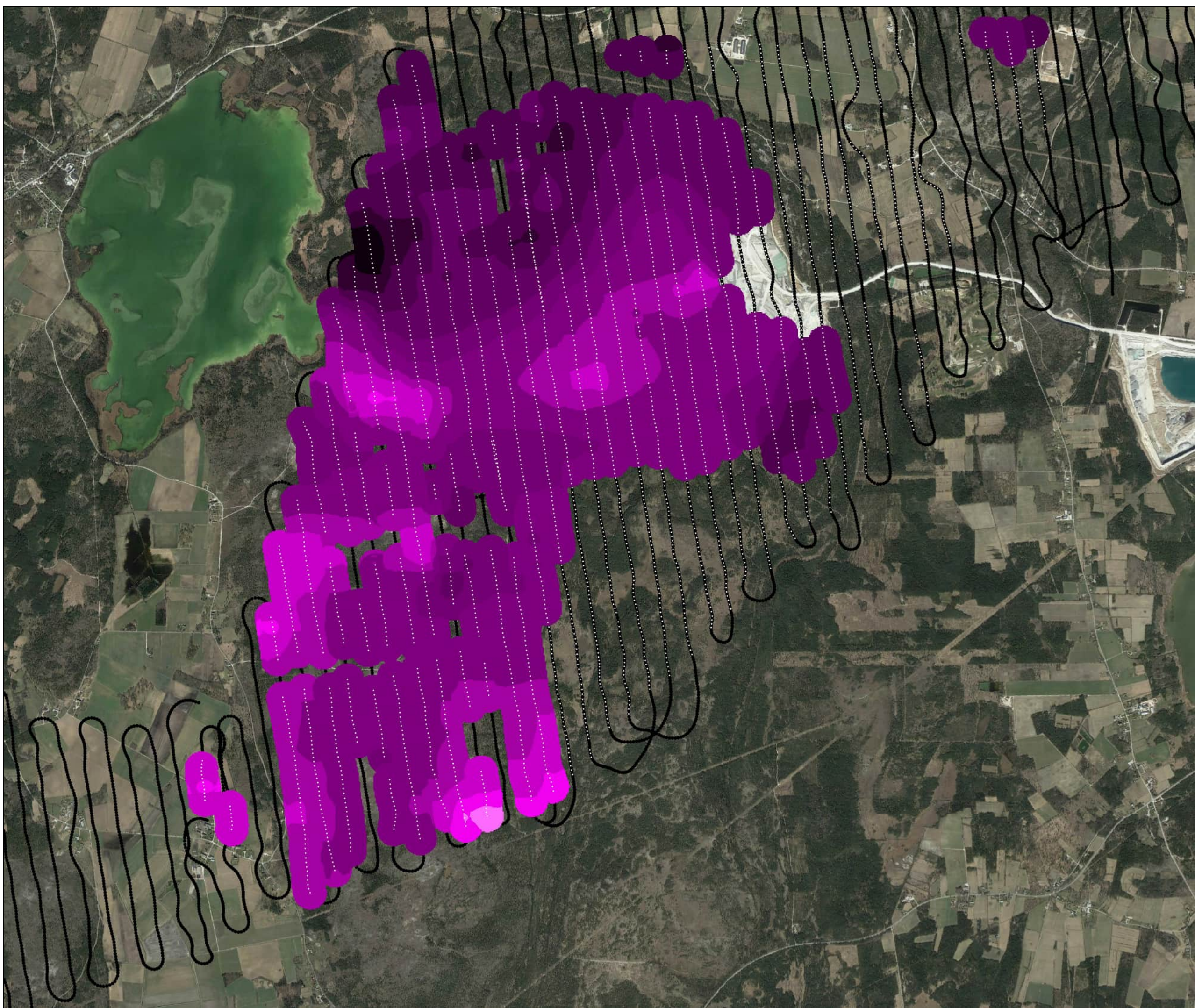
— Collected data  
● Used soundings



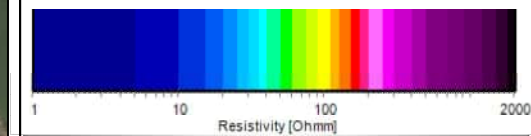
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 40 to 45 meters



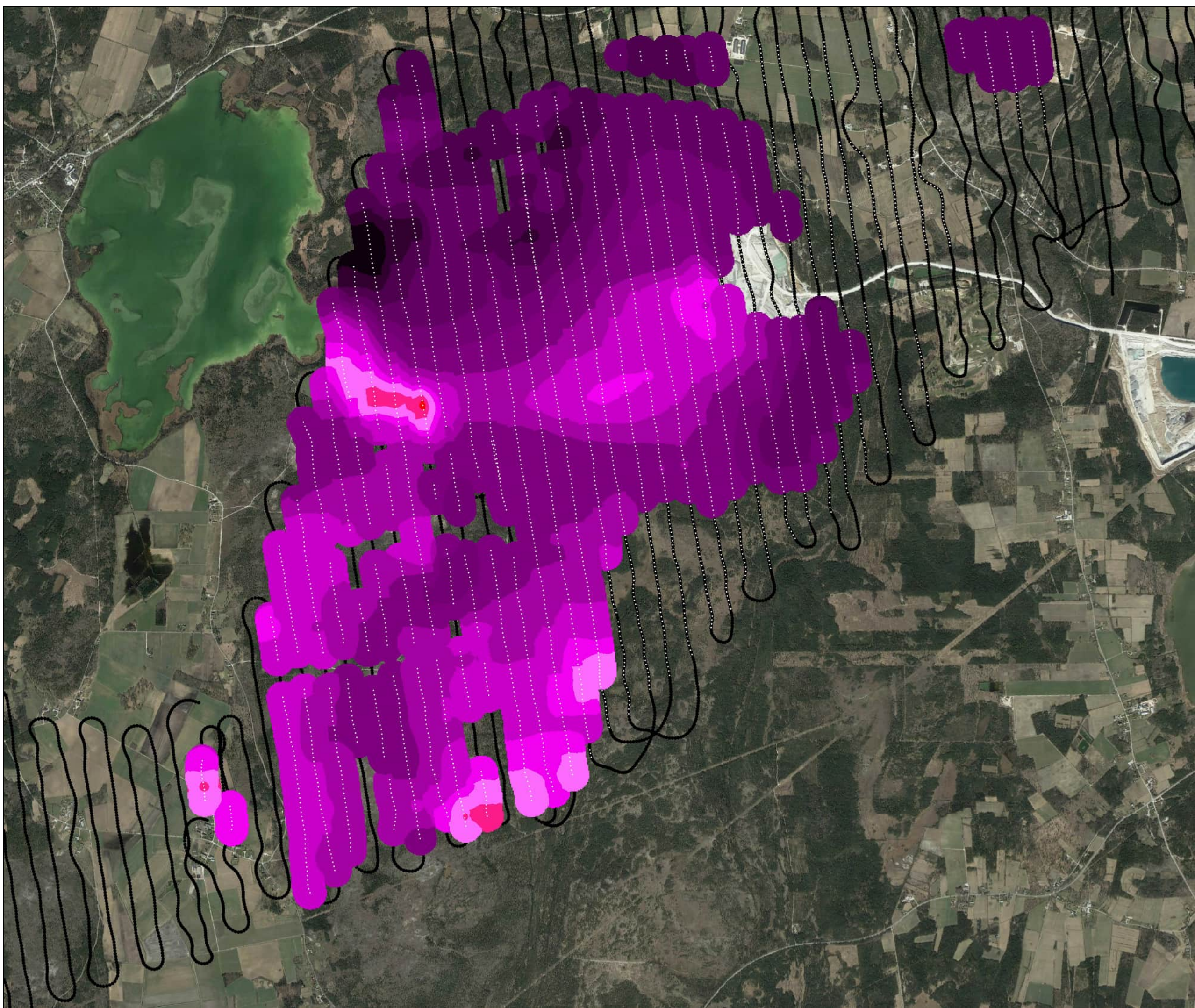
— Collected data  
○○○ Used soundings



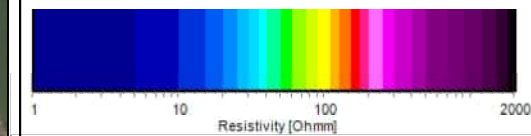
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 35 to 40 meters



— Collected data  
● Used soundings



Project no. 22001822

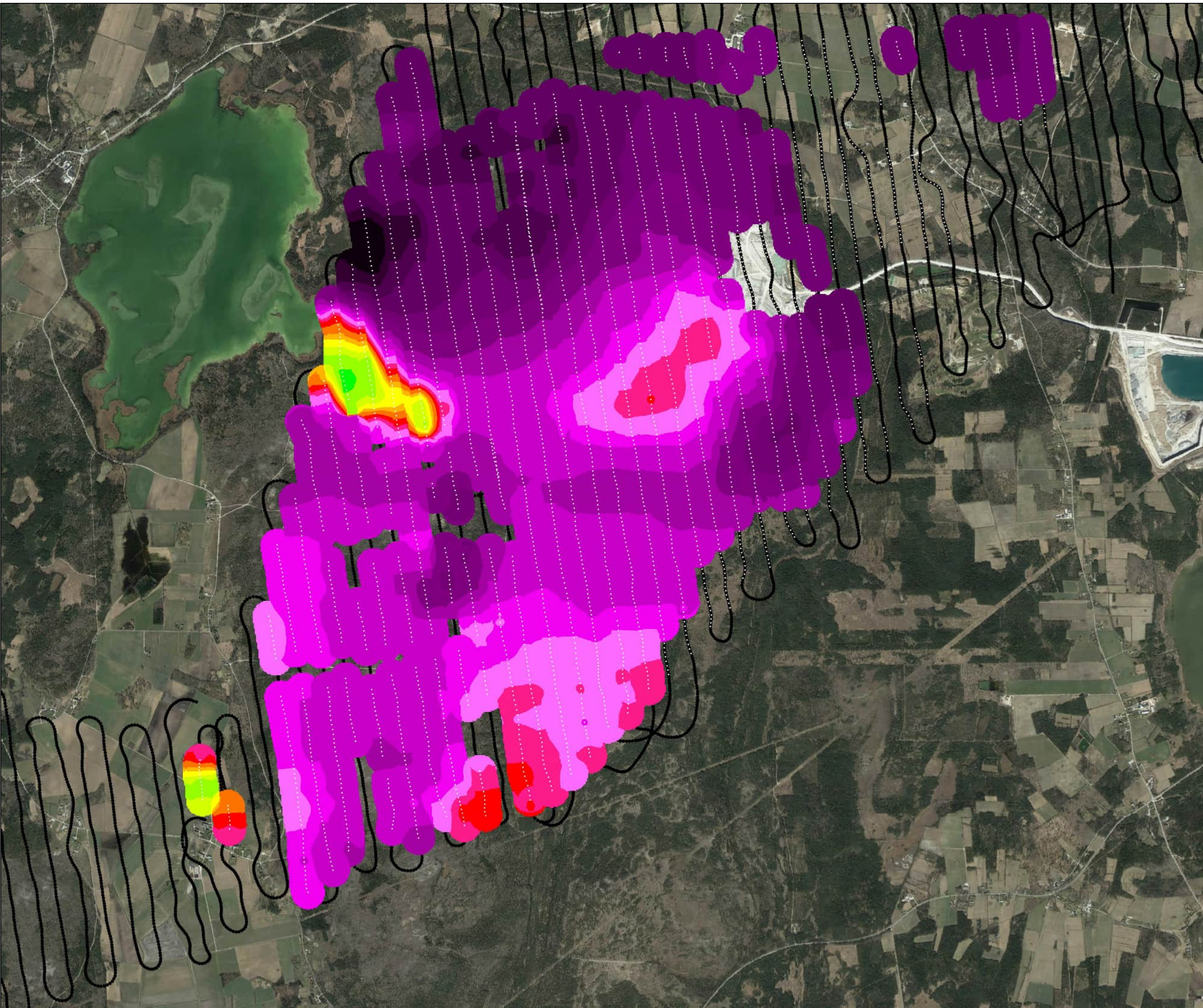
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

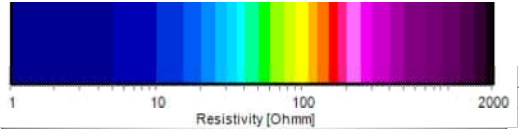
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 30 to 35 meters



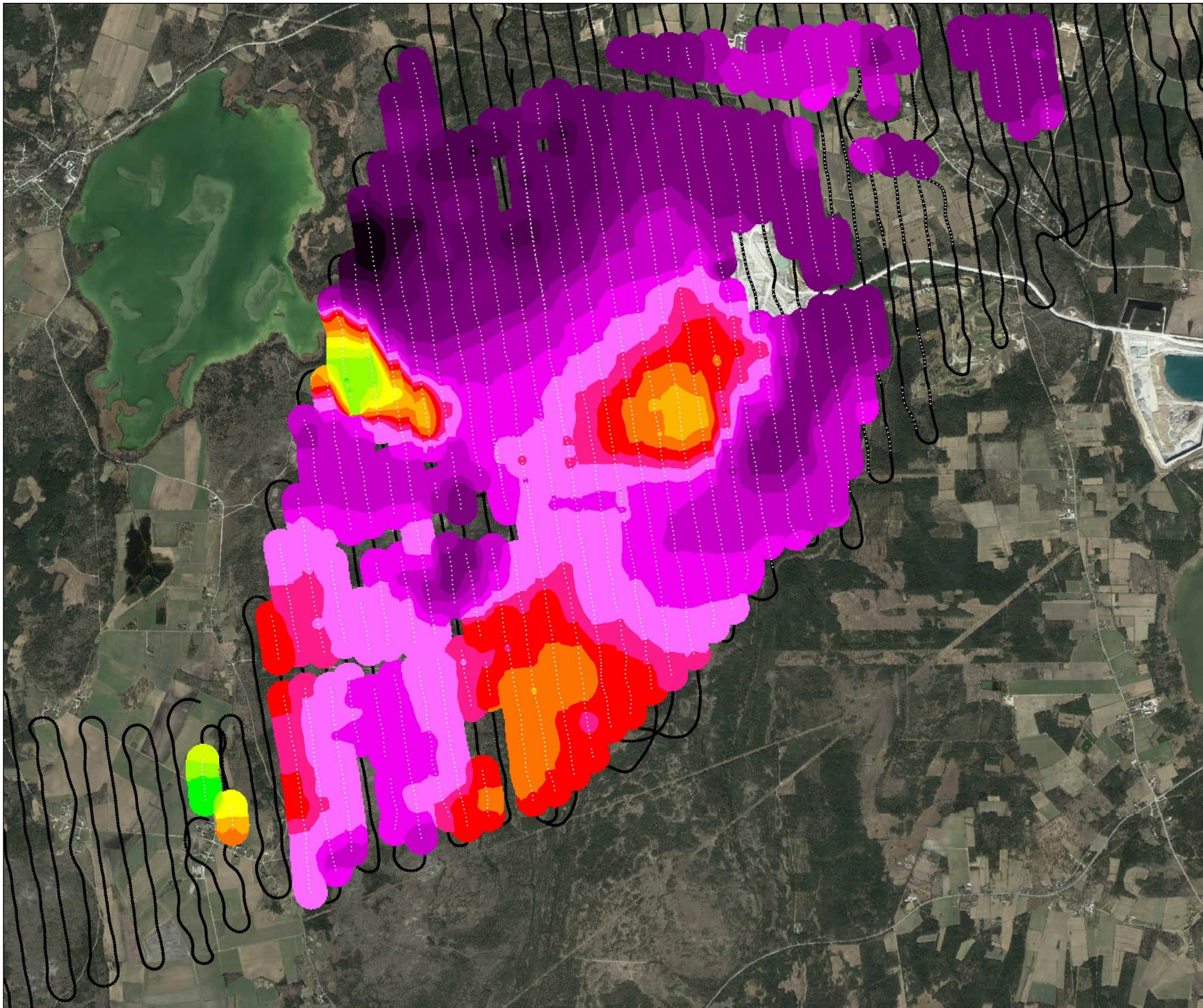
— Collected data  
⋯ Used soundings



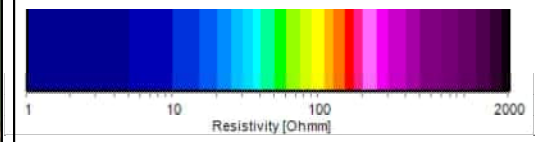
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 25 to 30 meters



— Collected data  
● Used soundings



Project no. 22001822

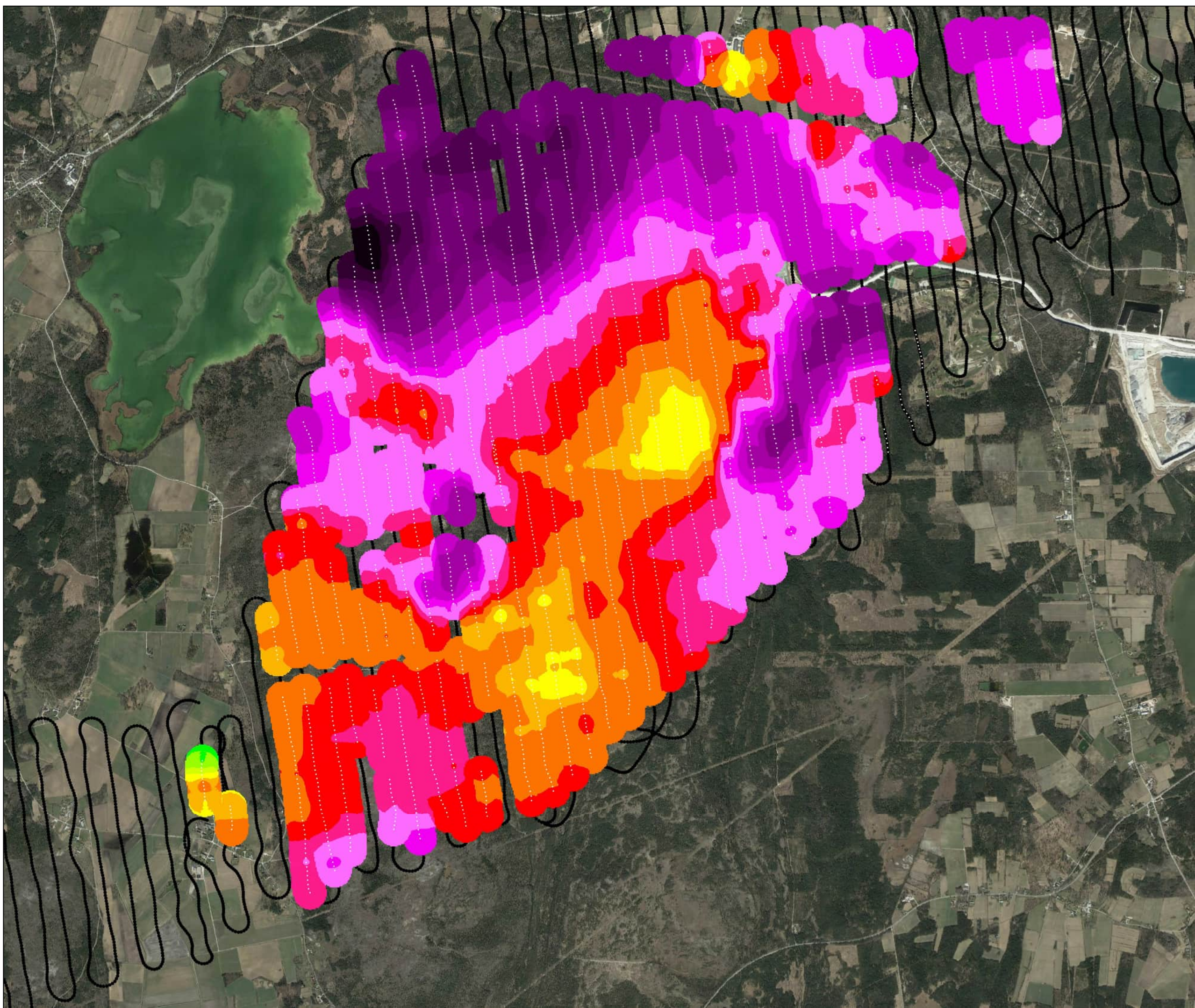
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

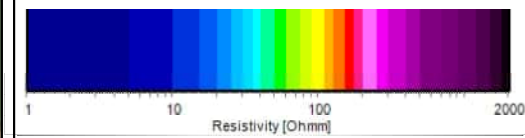
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 20 to 25 meters



— Collected data  
● Used soundings



Project no. 22001822

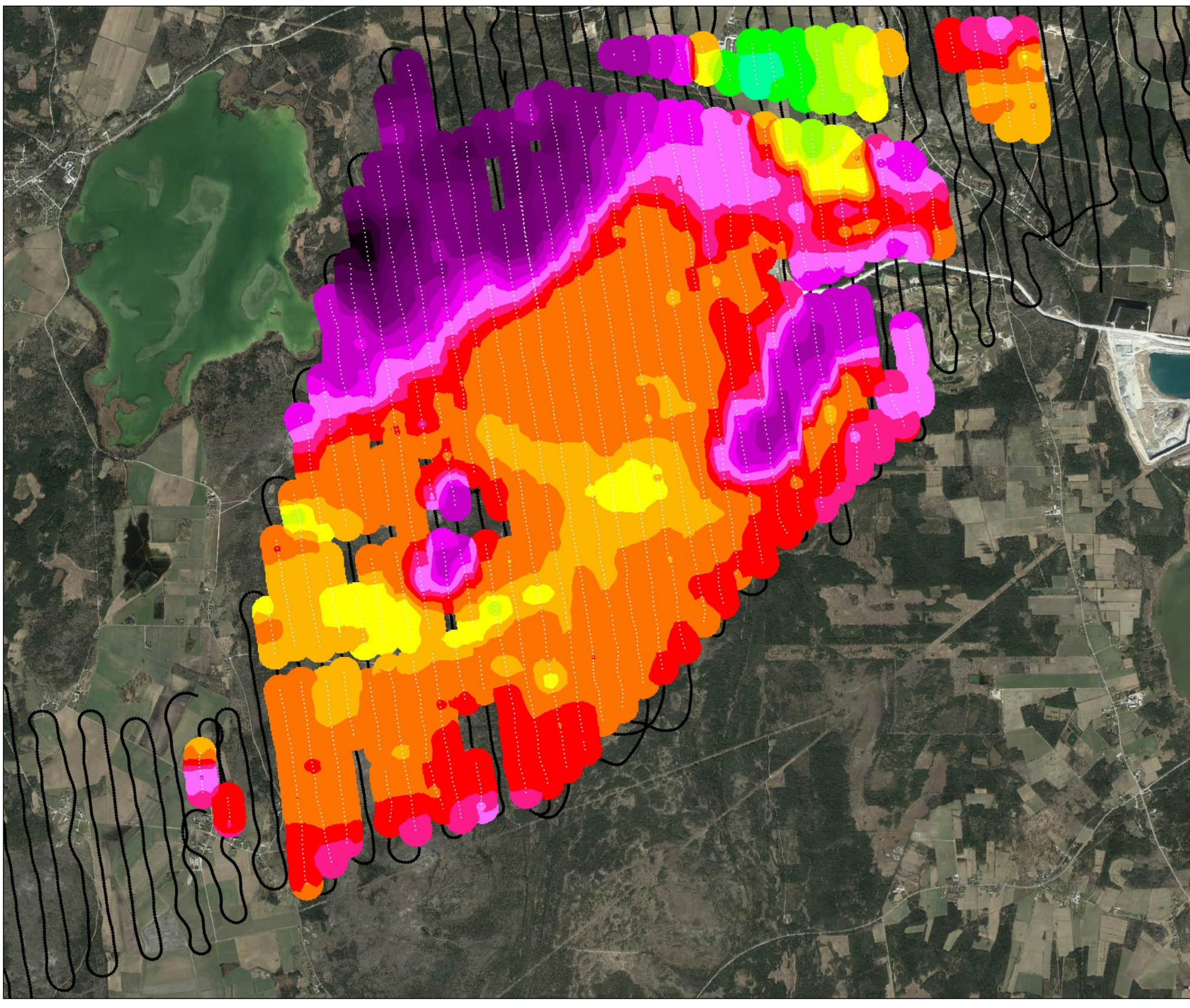
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

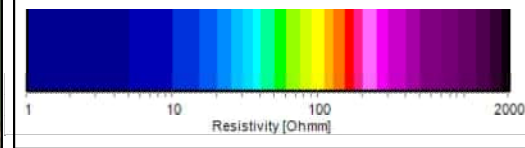
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 10 to 20 meters



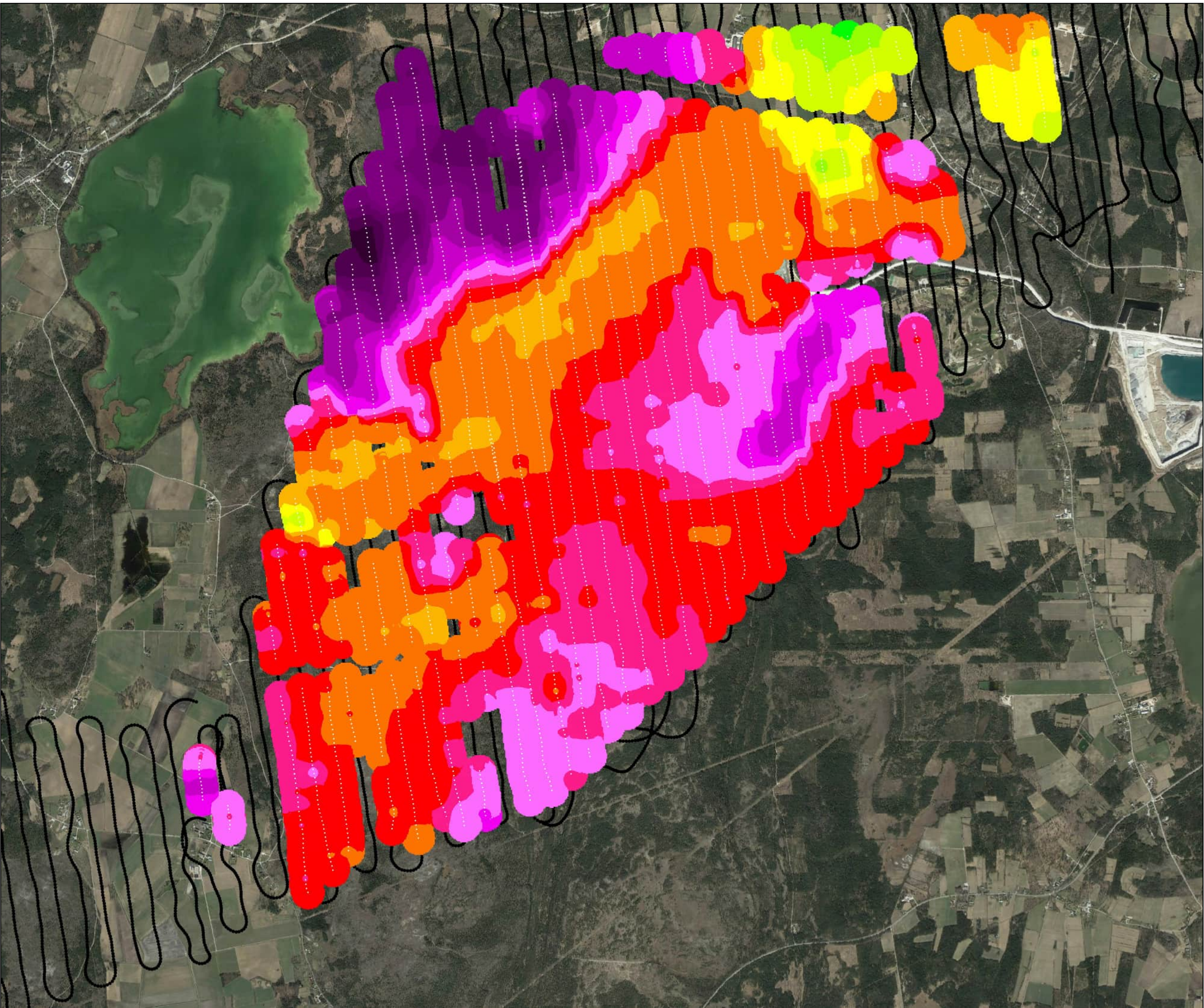
— Collected data  
● Used soundings



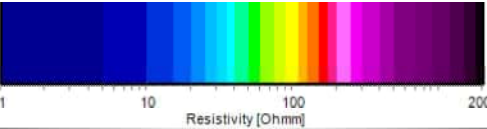
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation 0 to 10 meters



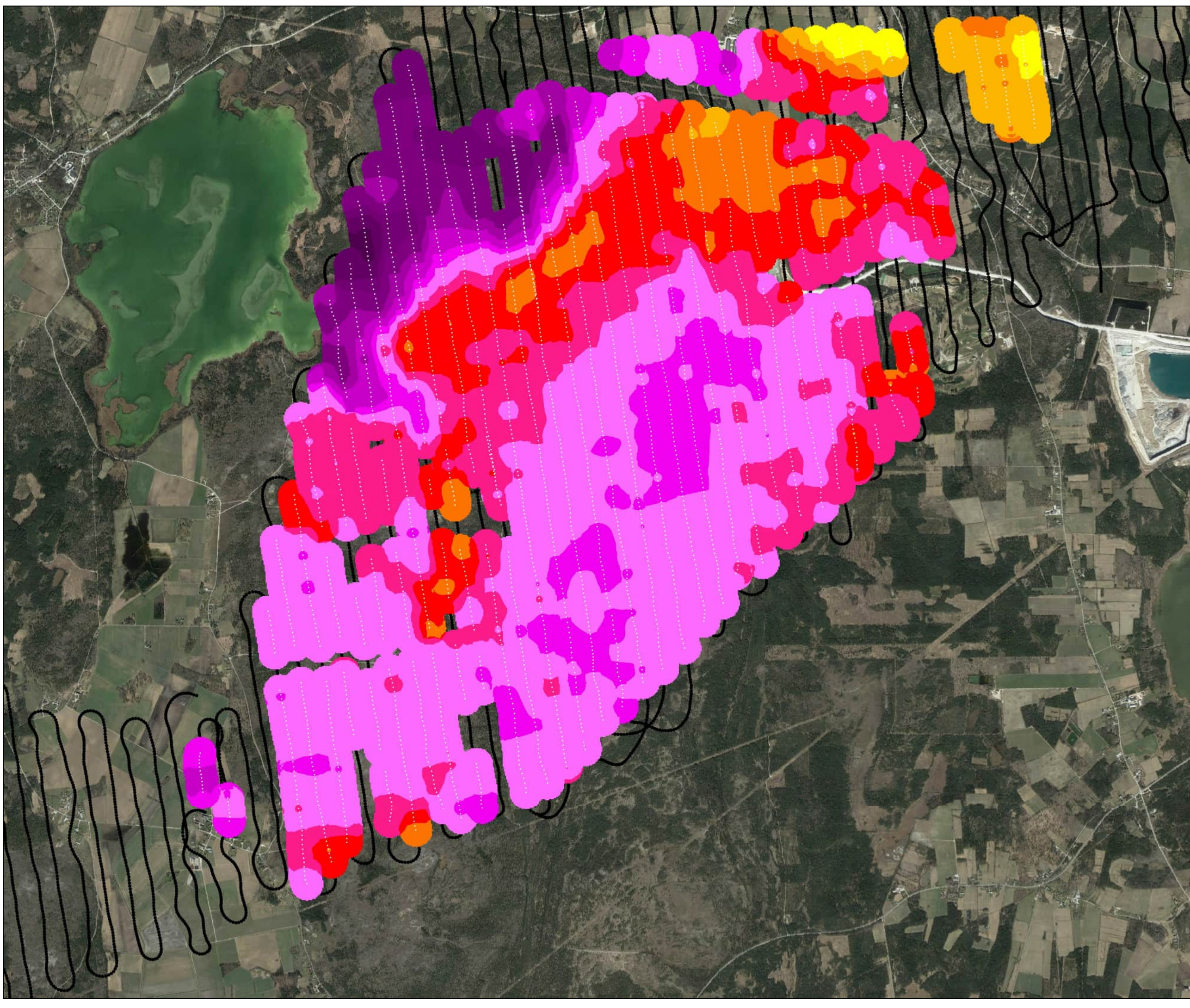
— Collected data  
● Used soundings



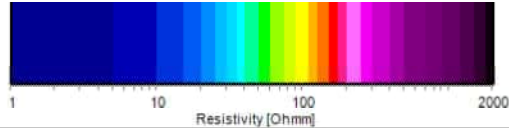
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -10 to 0 meters



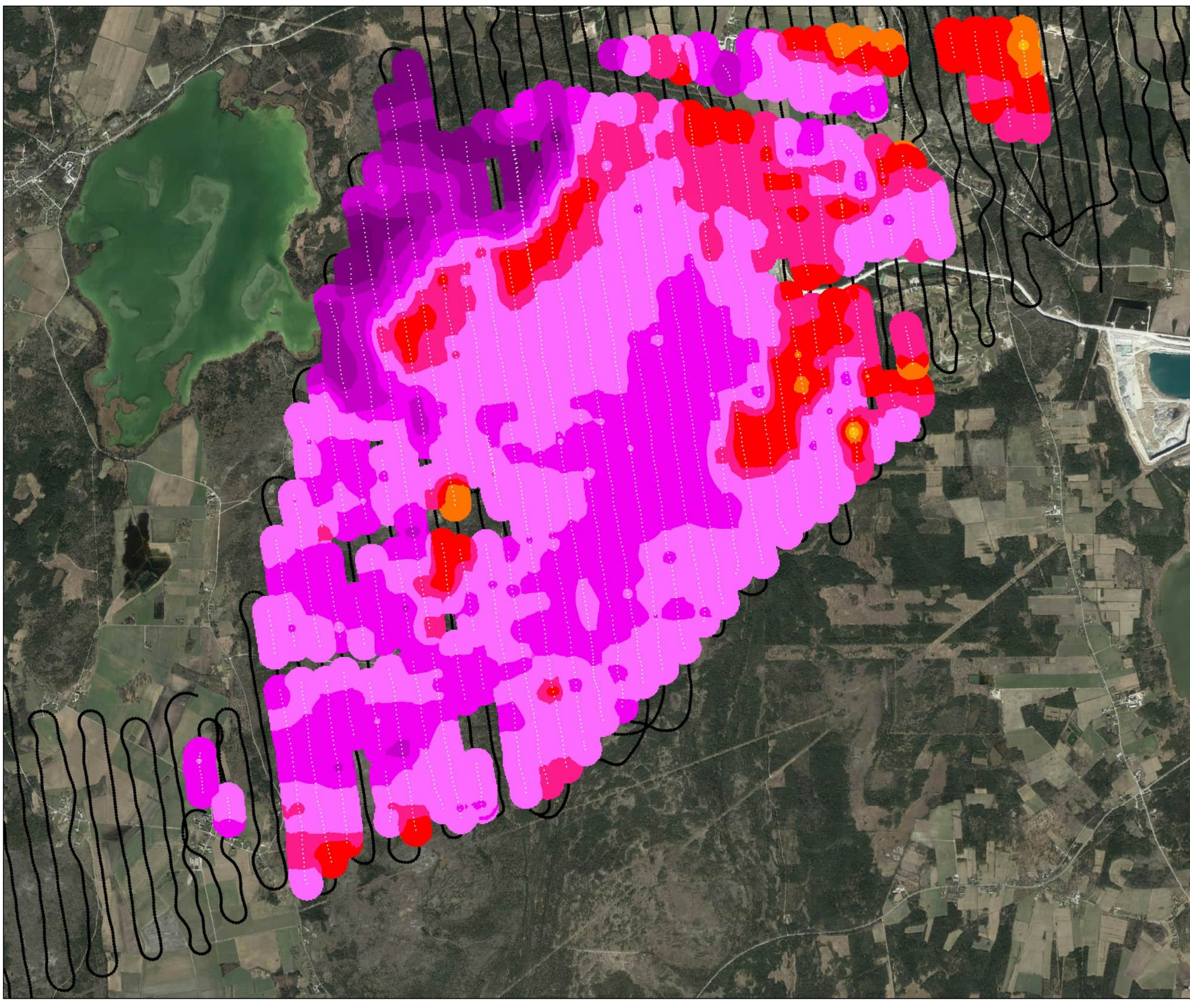
— Collected data  
○○○ Used soundings



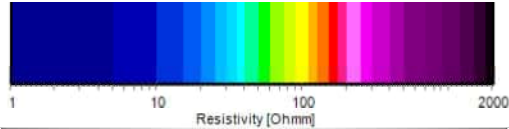
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -20 to -10 meters



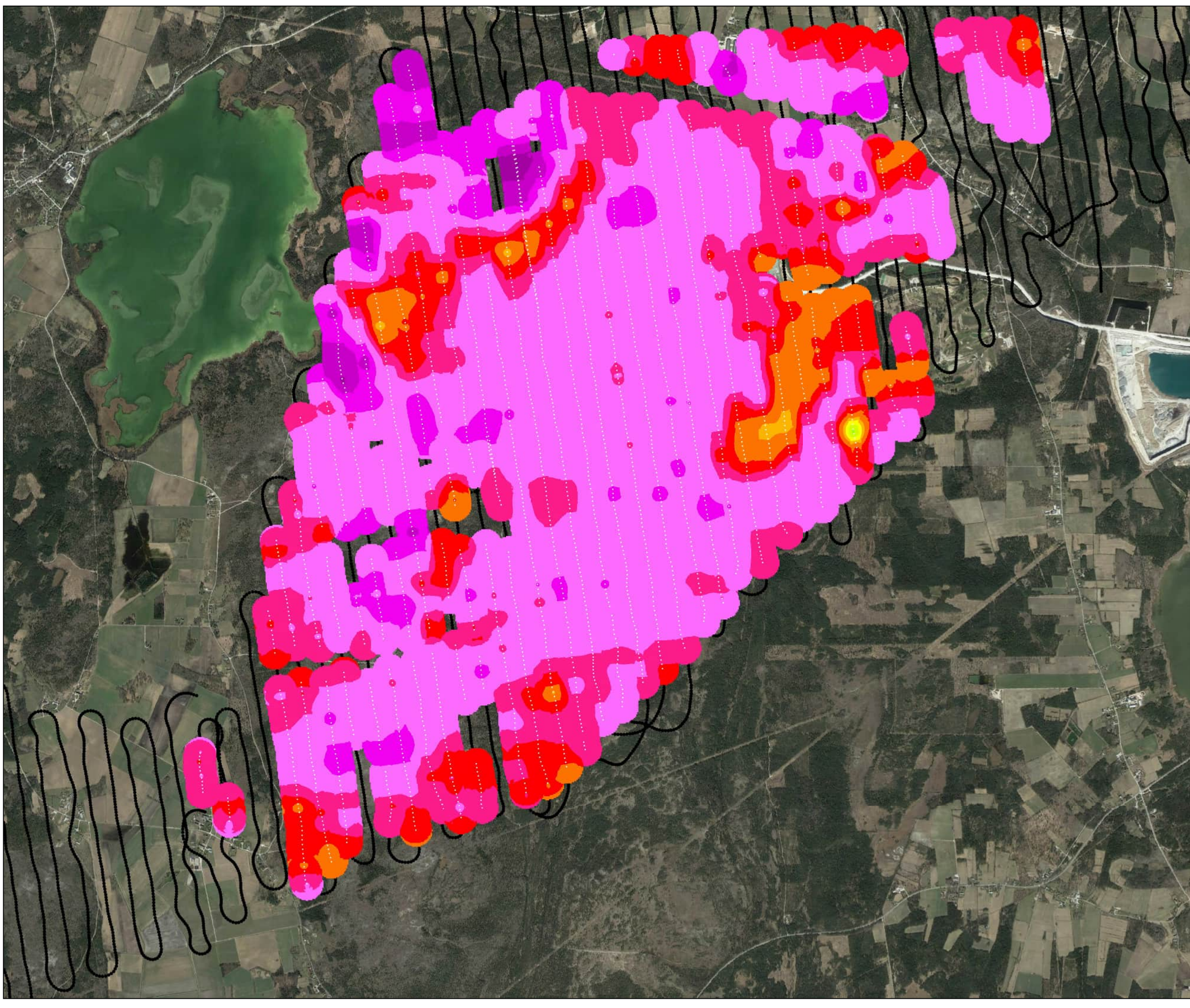
— Collected data  
● Used soundings



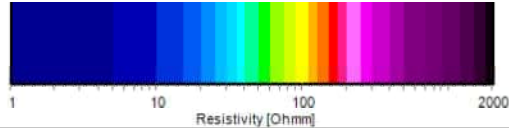
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -30 to -20 meters



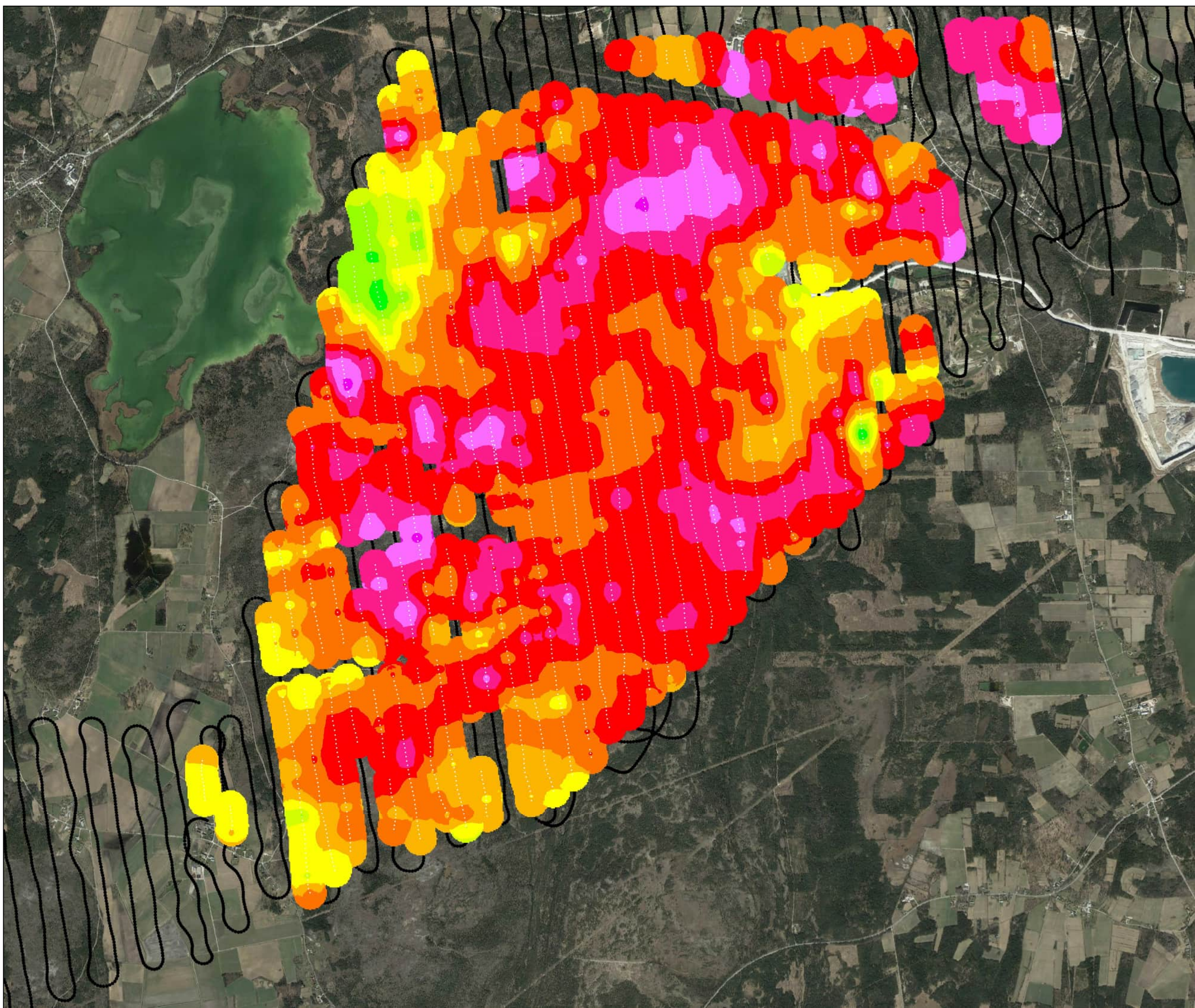
— Collected data  
● Used soundings



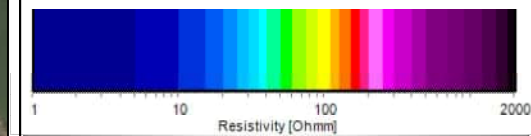
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -40 to -30 meters



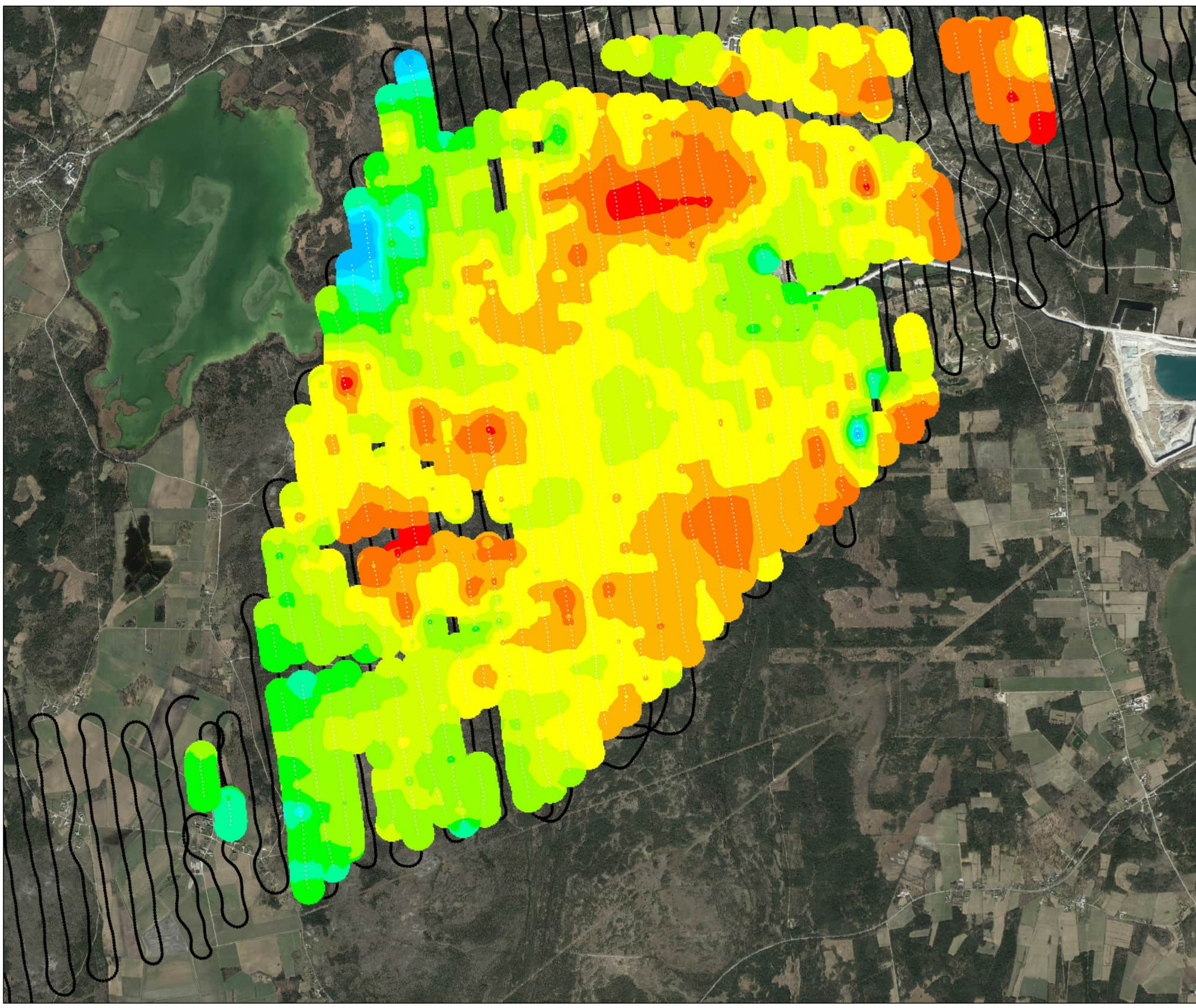
— Collected data  
● Used soundings



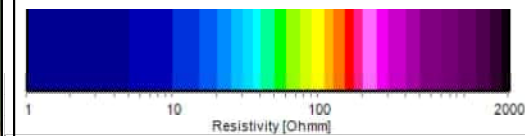
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -50 to -40 meters



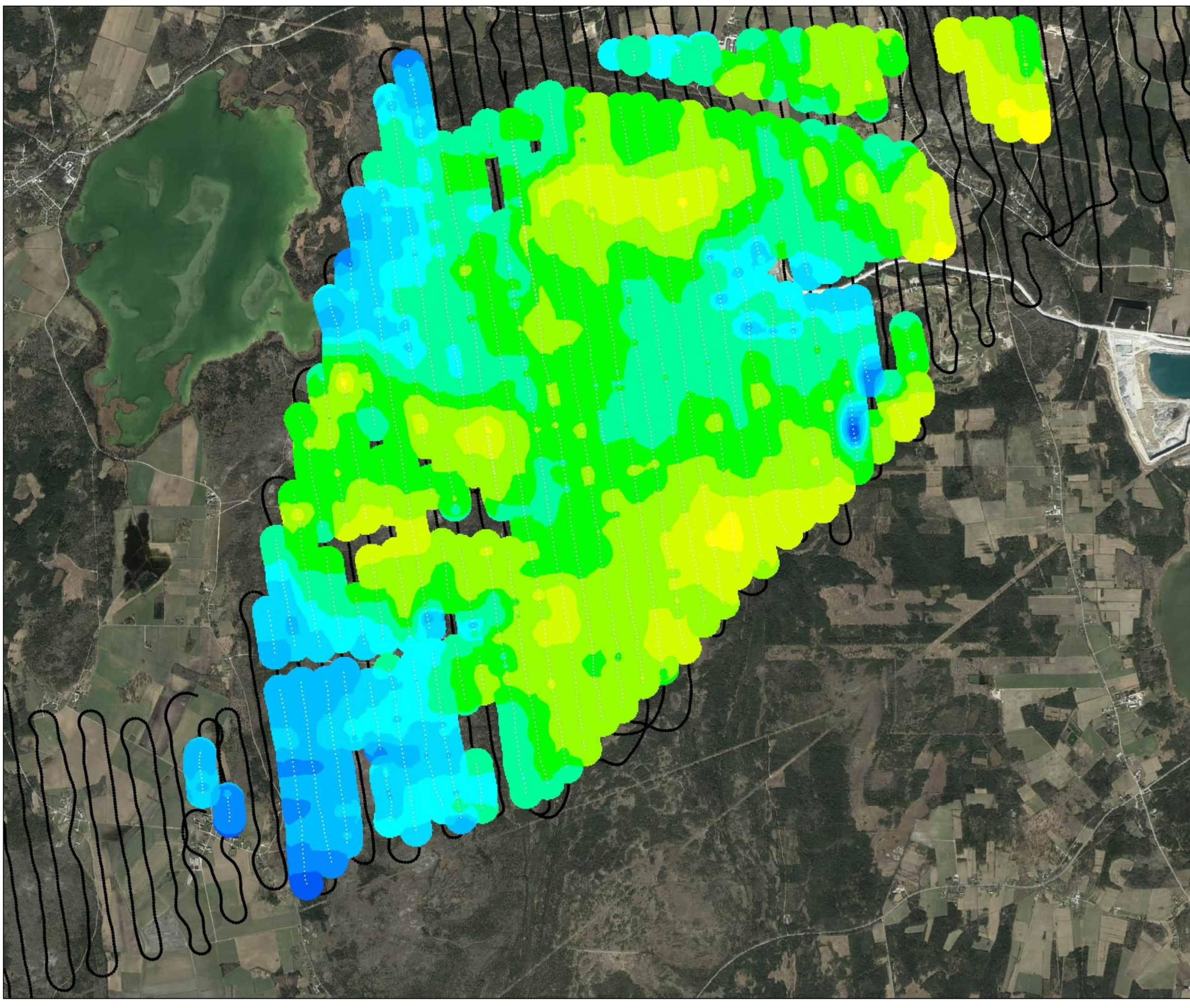
— Collected data  
● Used soundings



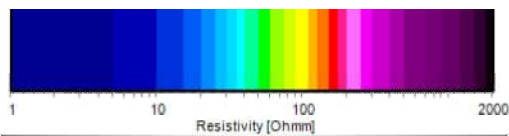
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -60 to -50 meters



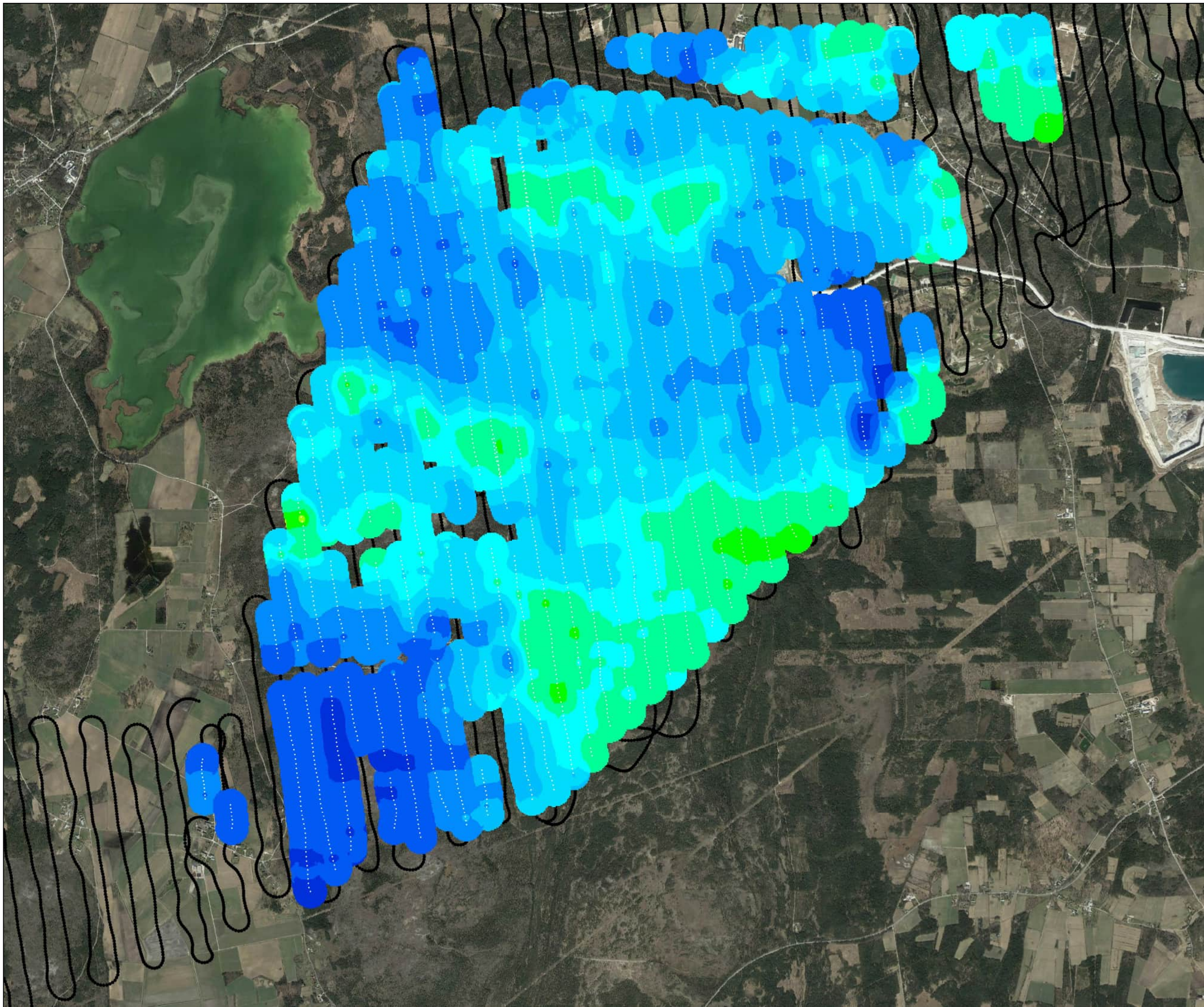
— Collected data  
○○○ Used soundings



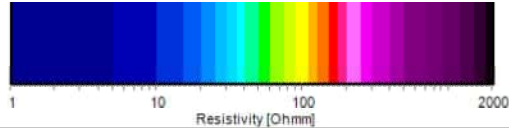
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -70 to -60 meters



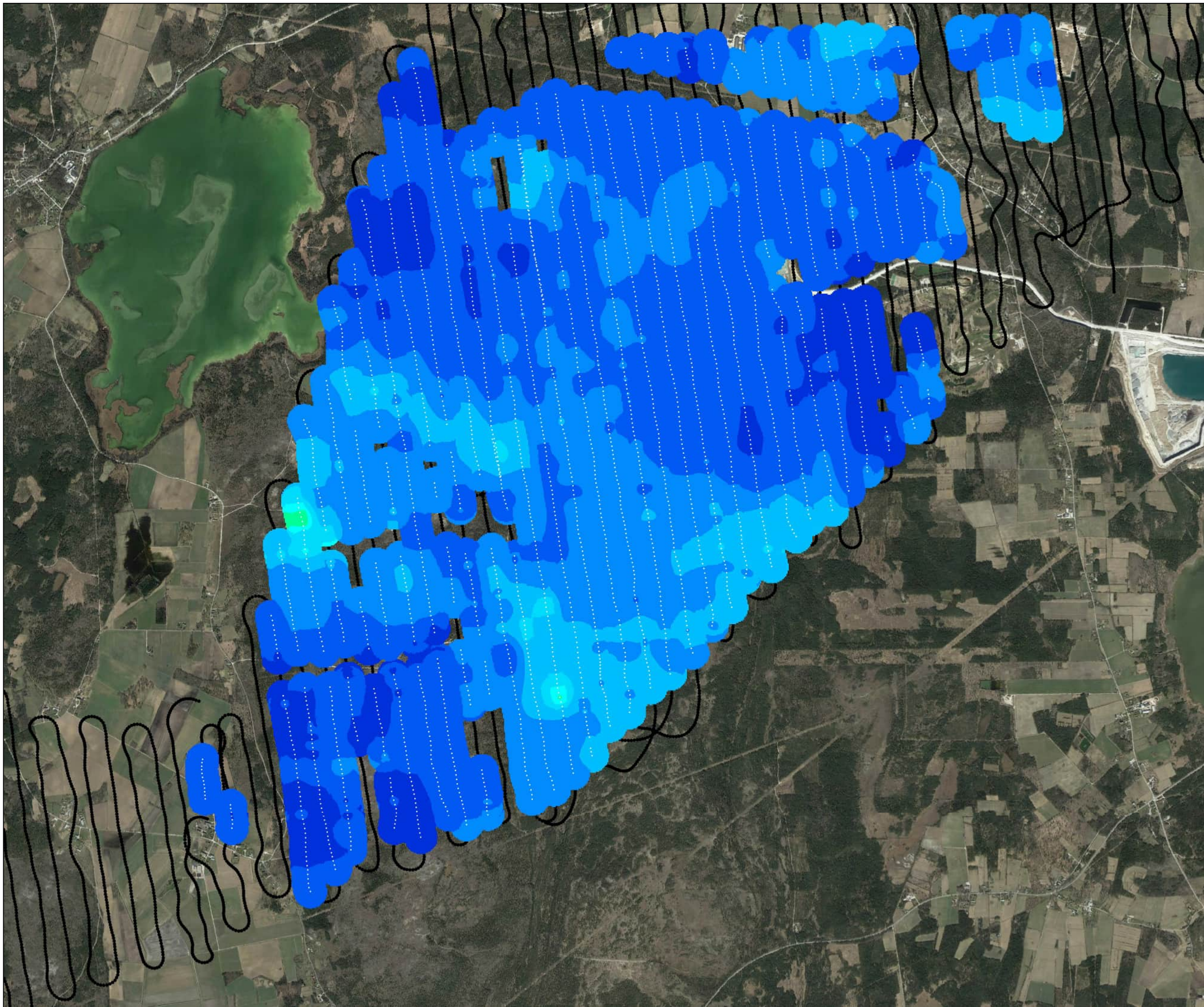
— Collected data  
○○○ Used soundings



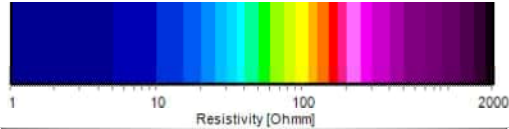
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -80 to -70 meters



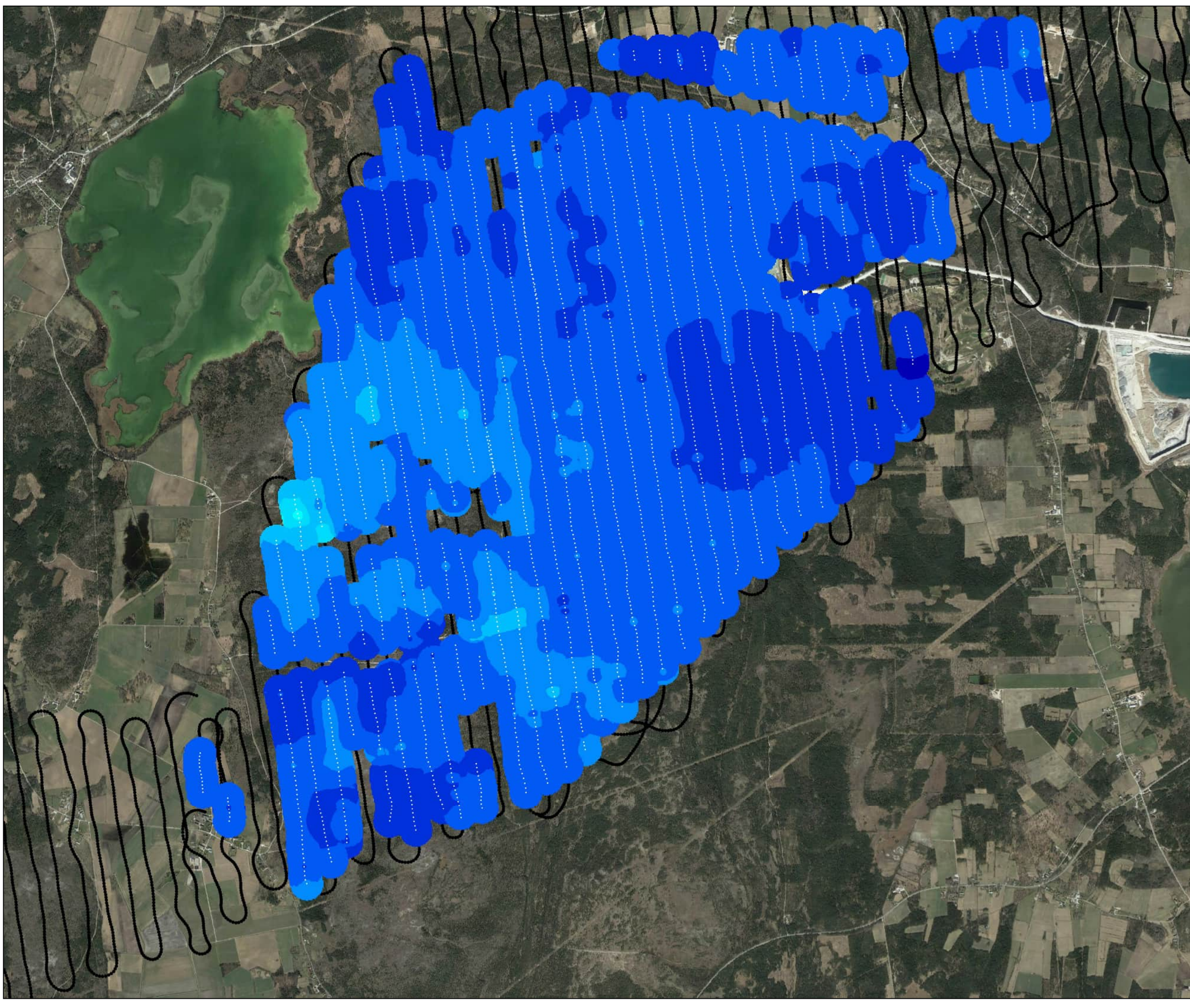
— Collected data  
○○○ Used soundings



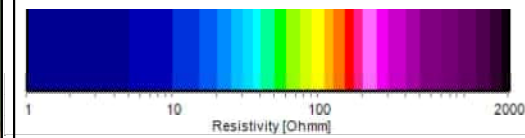
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -90 to -80 meters



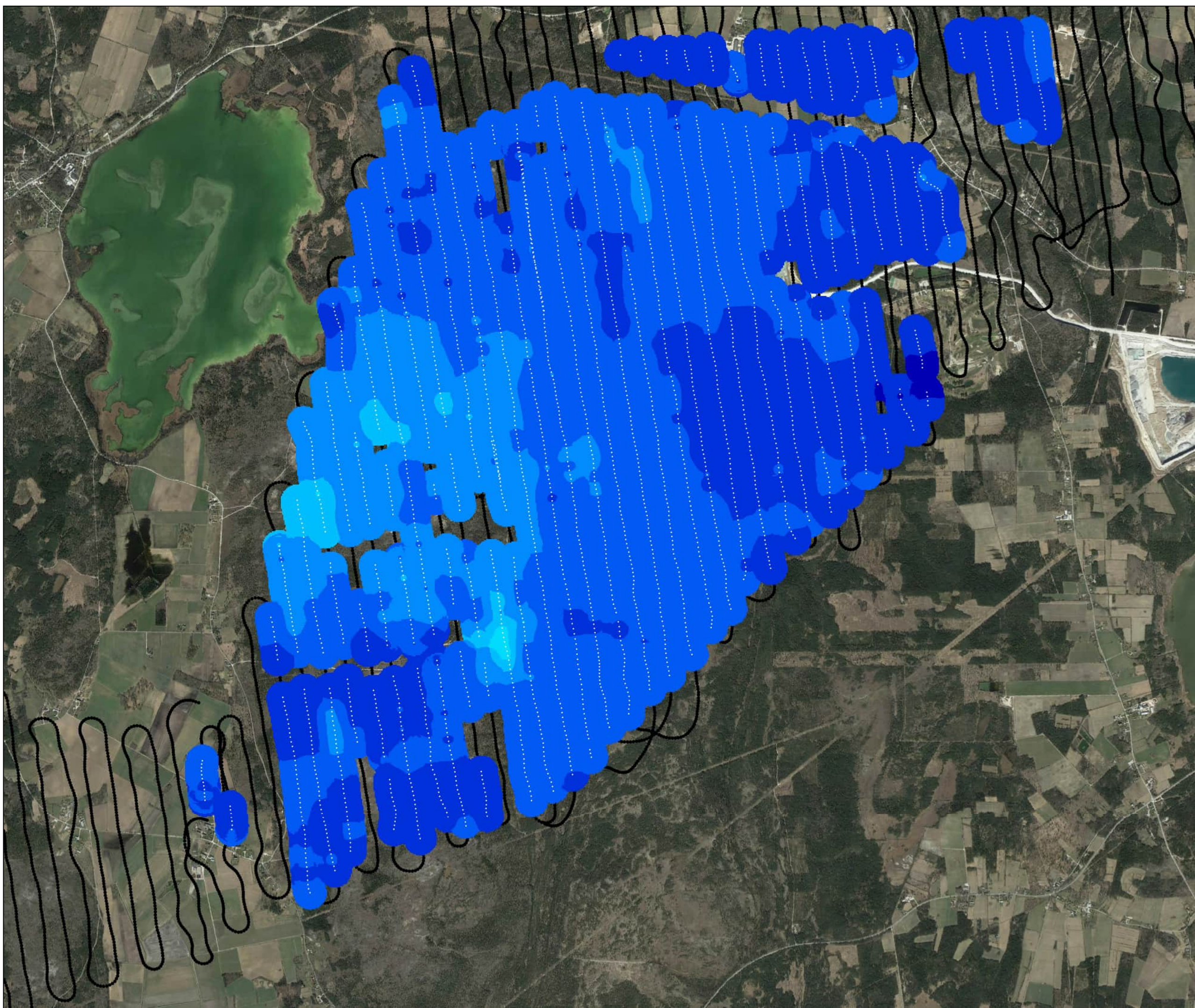
— Collected data  
○○○ Used soundings



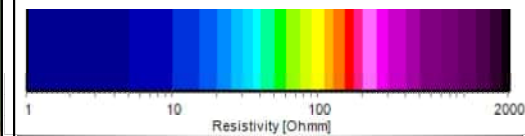
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -100 to -90 meters



— Collected data  
● Used soundings



Project no. 22001822

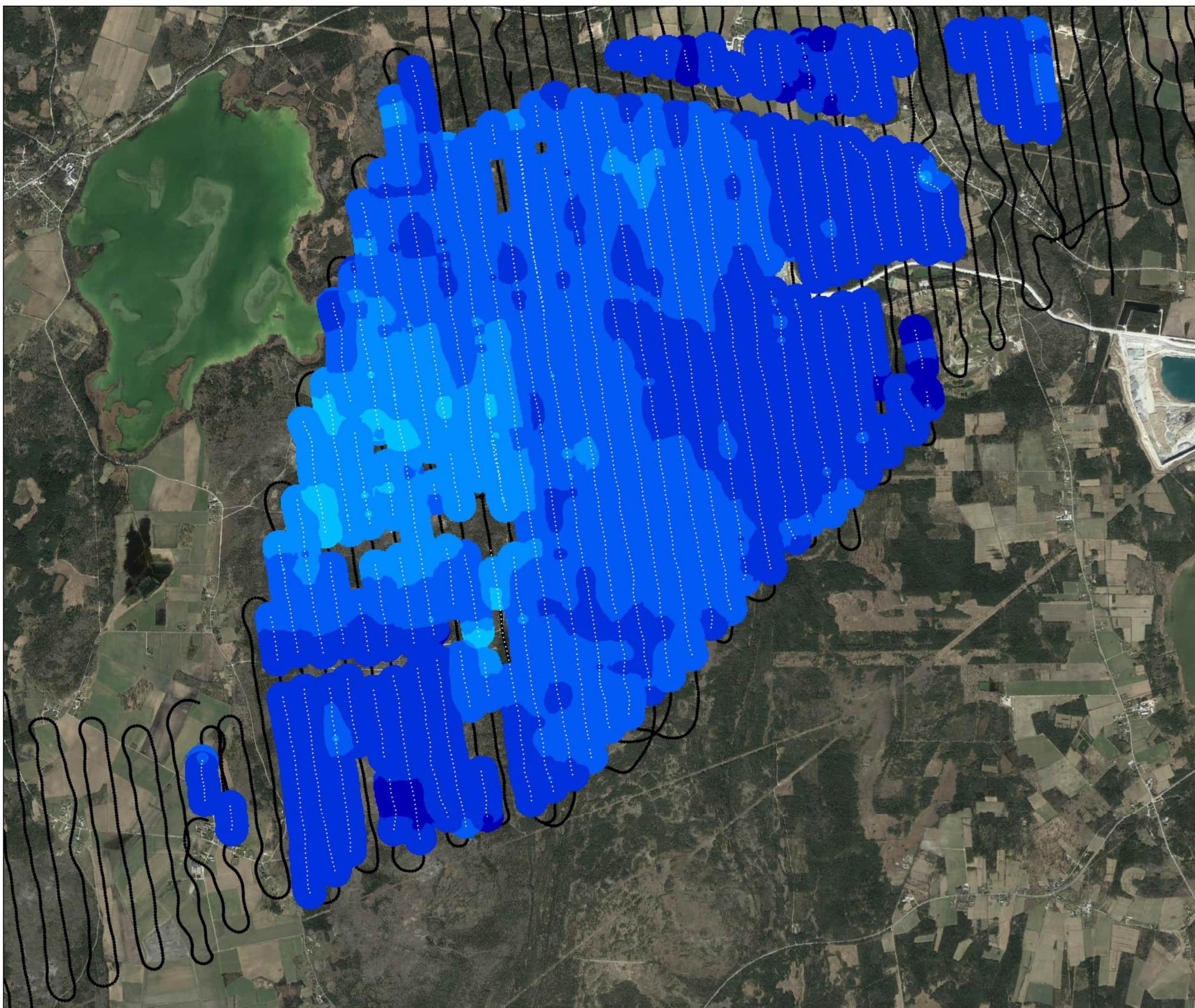
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

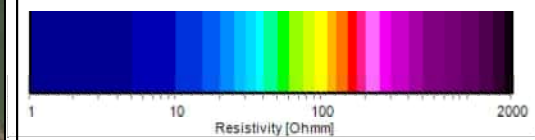
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -110 to -100 meters



— Collected data  
○○○ Used soundings



Project no. 22001822

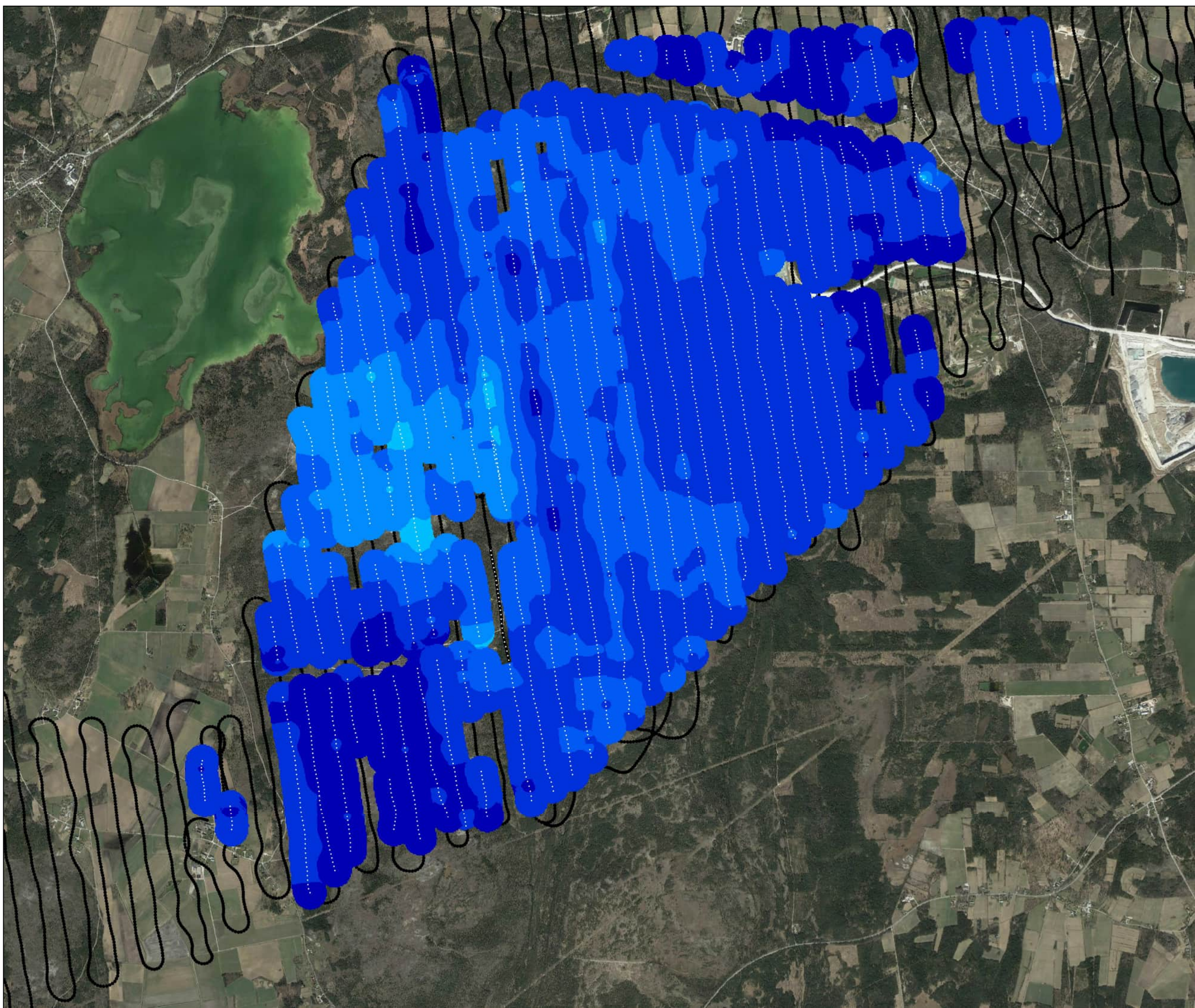
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

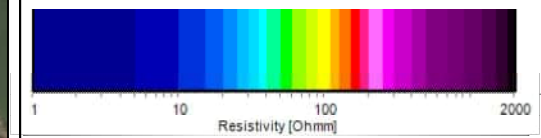
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -120 to -110 meters



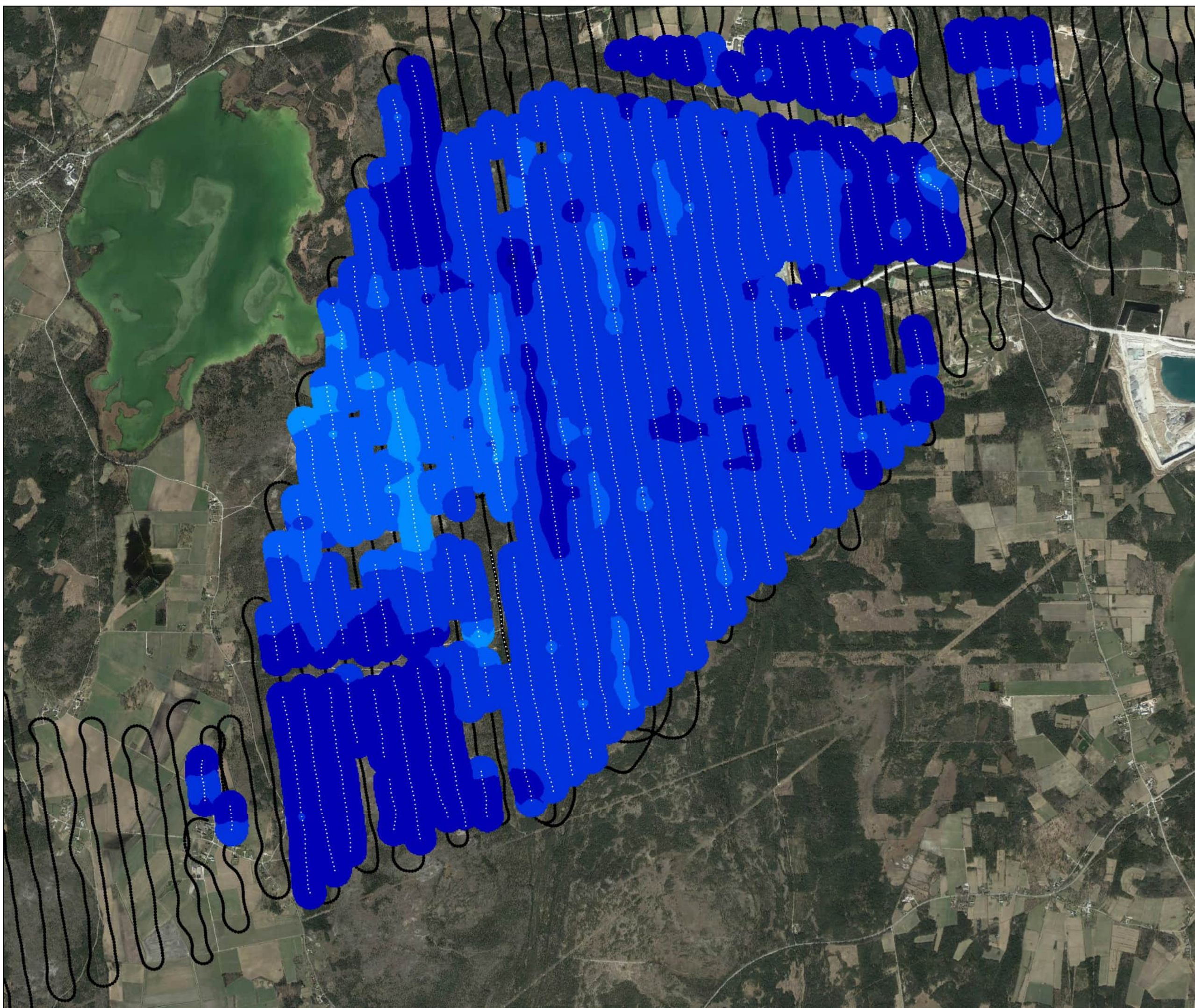
— Collected data  
● Used soundings



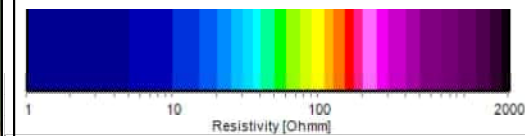
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -130 to -120 meters



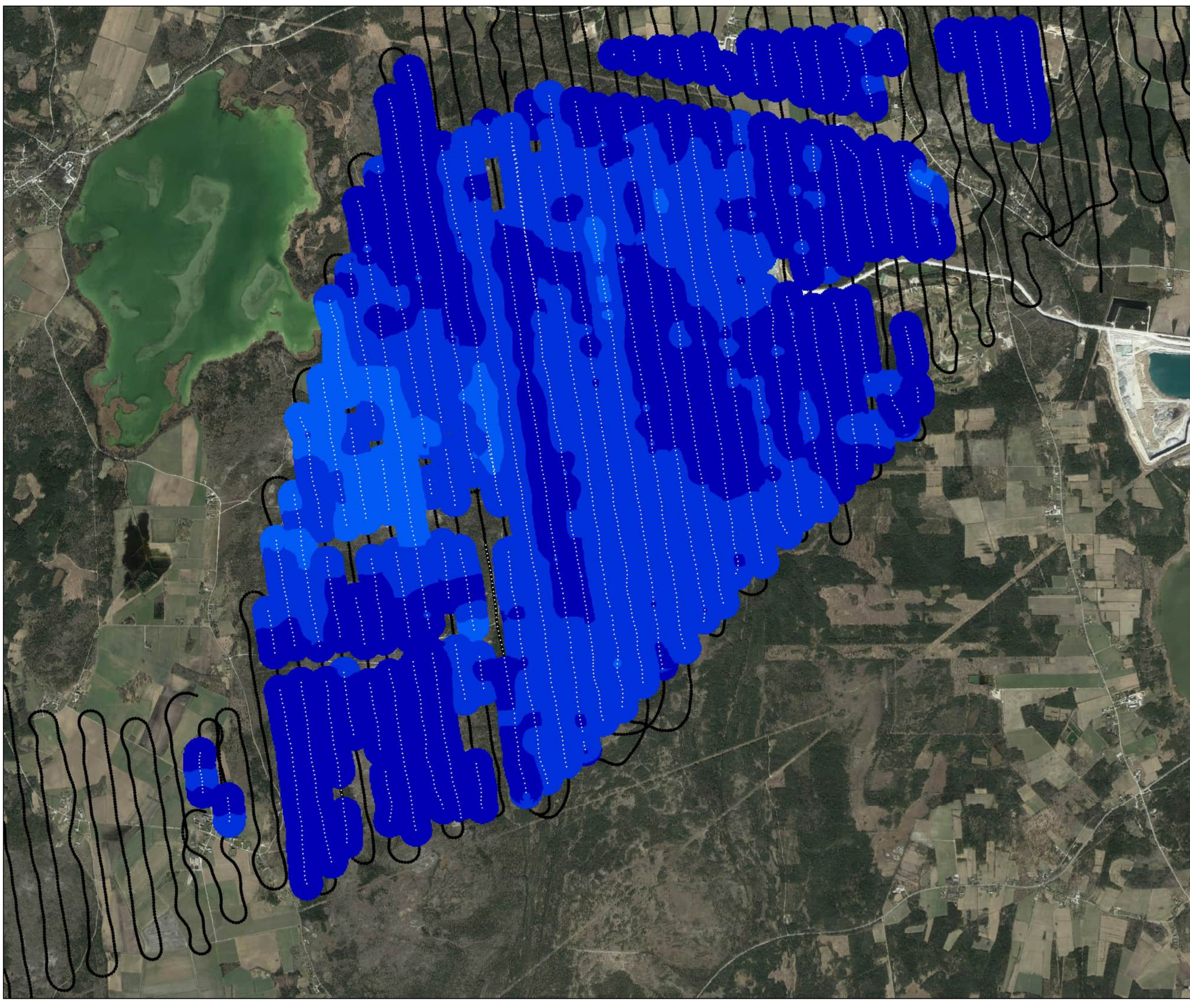
— Collected data  
● Used soundings



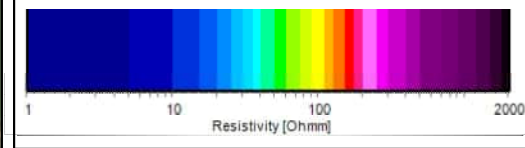
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -140 to -130 meters



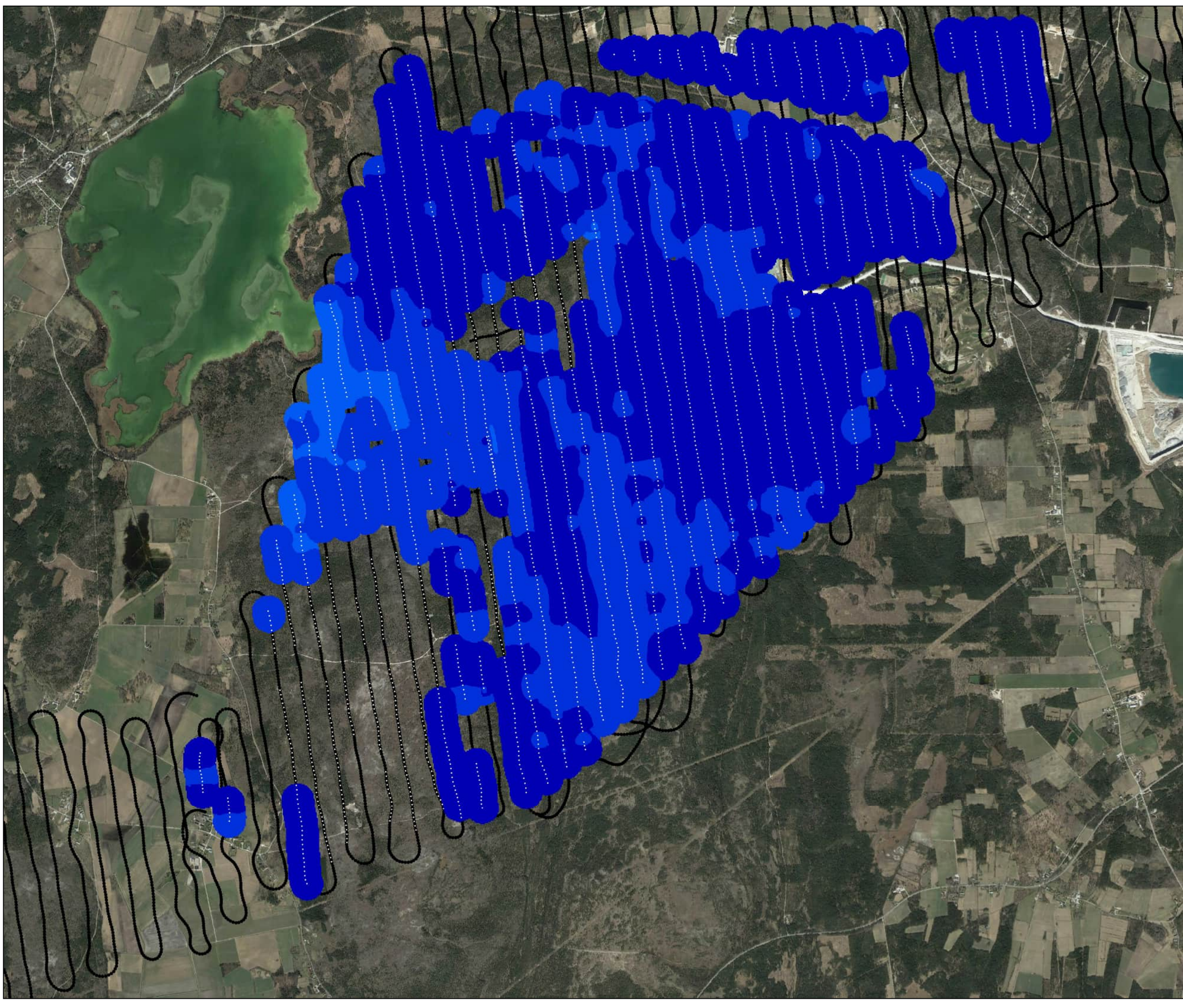
— Collected data  
○○○ Used soundings



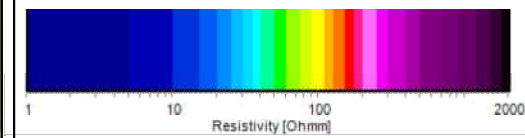
Project no. 22001822  
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen  
QA Anders Edsen 29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -150 to -140 meters



— Collected data  
○○○ Used soundings



Project no. 22001822

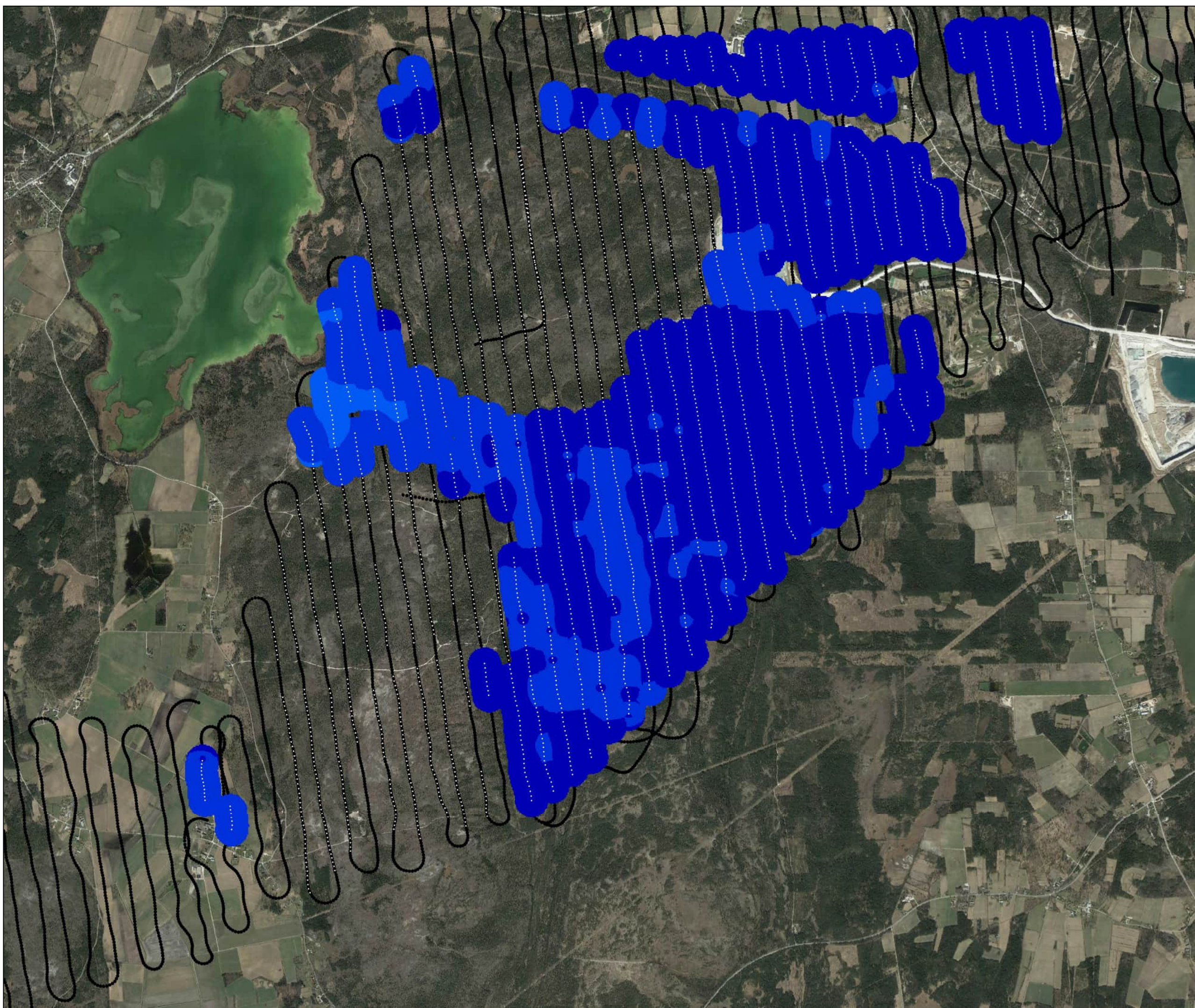
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

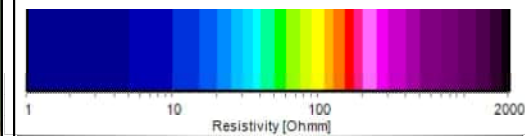
29-03-2023



Geophysics, Slite, Gotland  
Mean Resistivity Maps, SkyTEM  
Elevation -160 to -150 meters



— Collected data  
○○○ Used soundings



Project no. 22001822

Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

29-03-2023



**BILAGA**

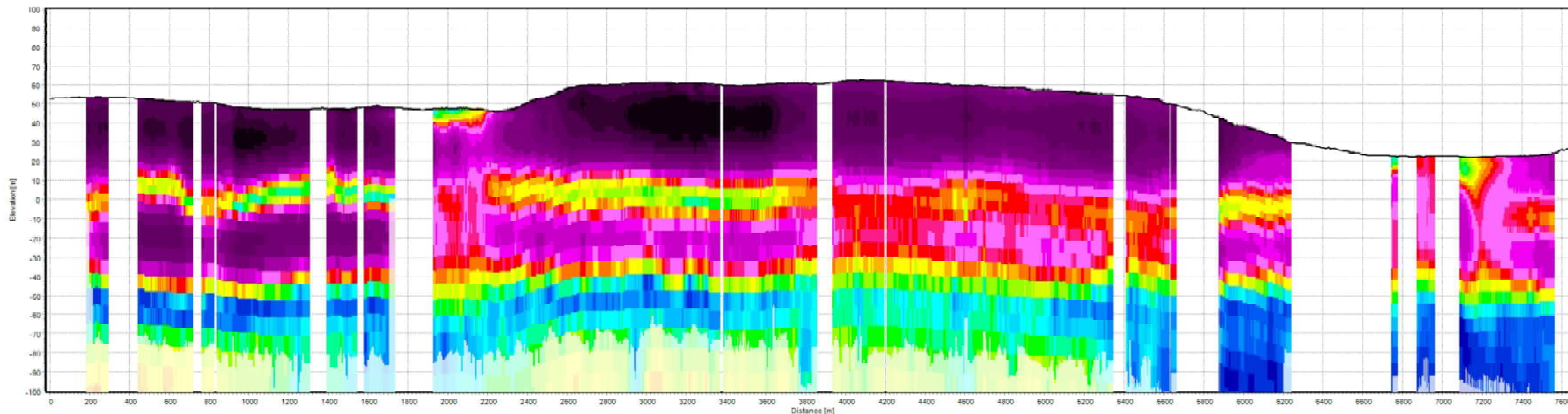
**C**

**PROFILER, TTEM OCH SKYTEM**

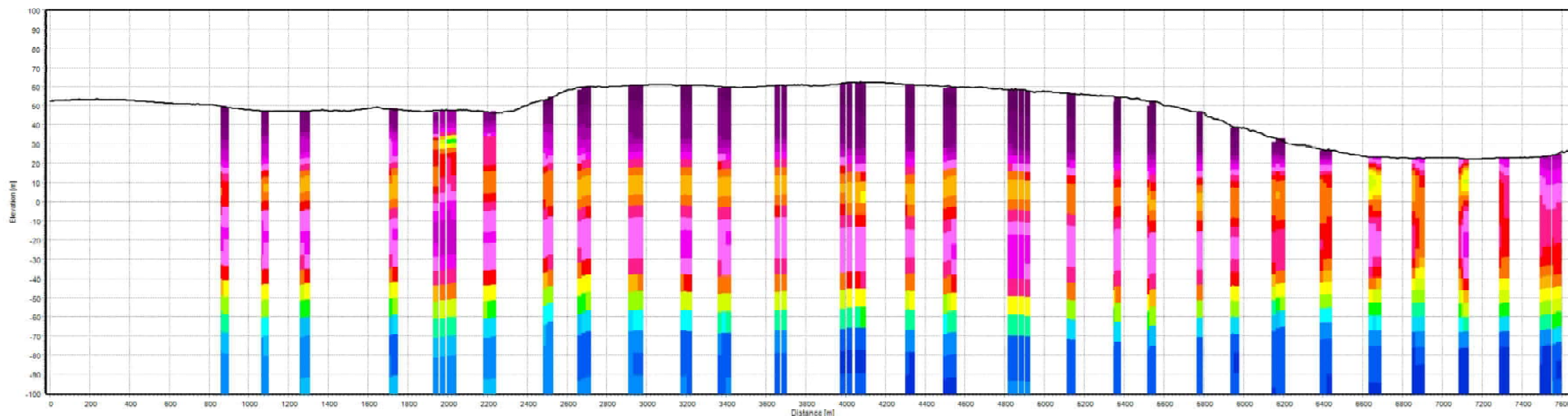




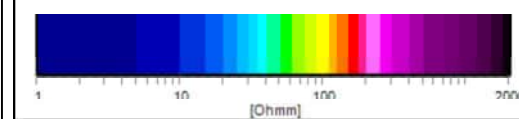
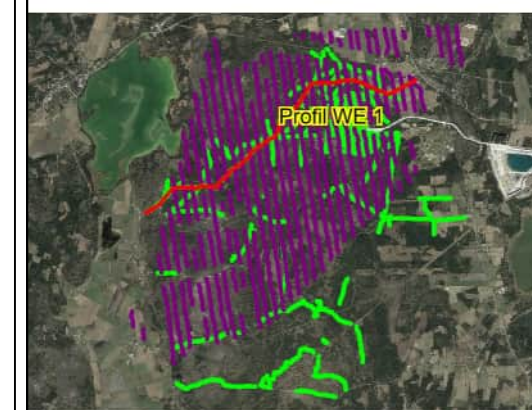
Profile WE 1, tTEM



Profile WE 1, SkyTEM



- Profile
- Collected data
- Used soundings



Project no. 22001822

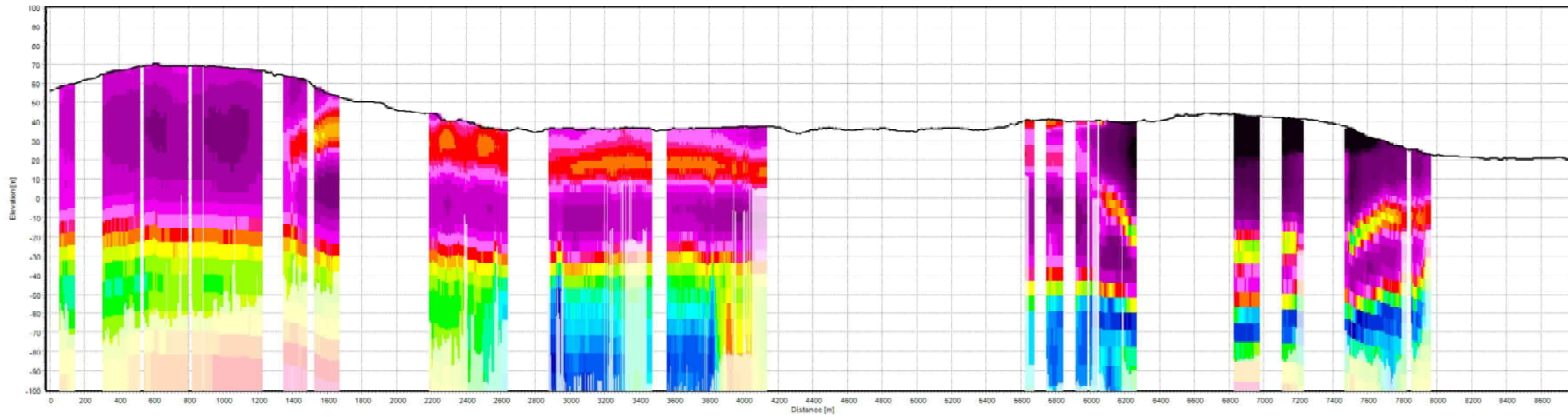
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

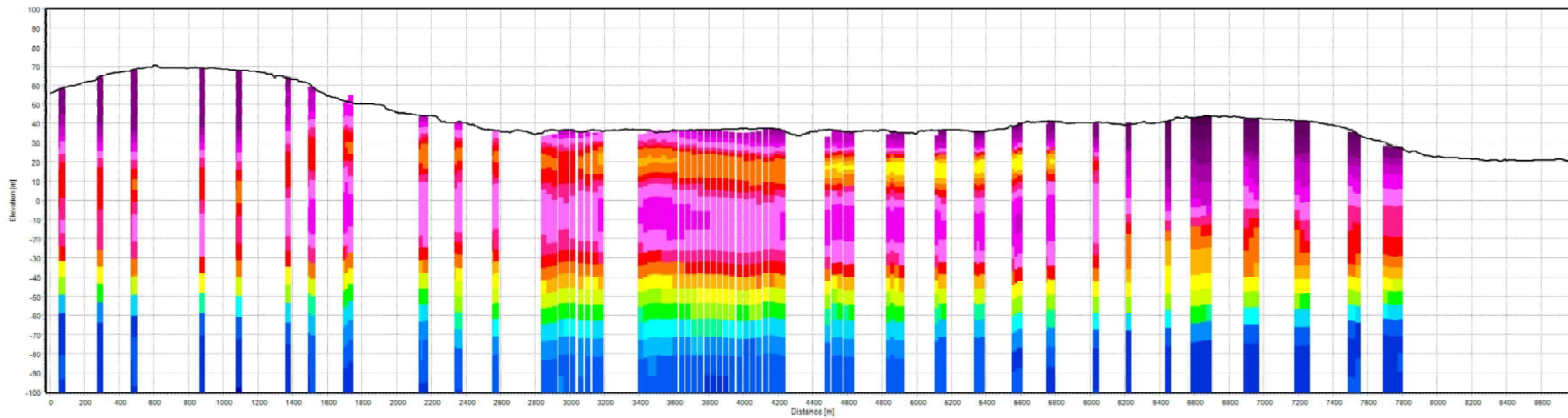
30-03-2023



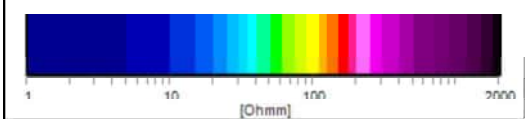
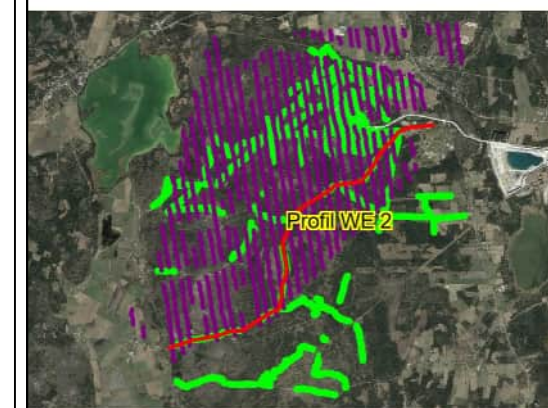
Profile WE 2, tTEM



Profile WE 2, SkyTEM



- Profile
- Collected data
- Used soundings



Project no. 22001822

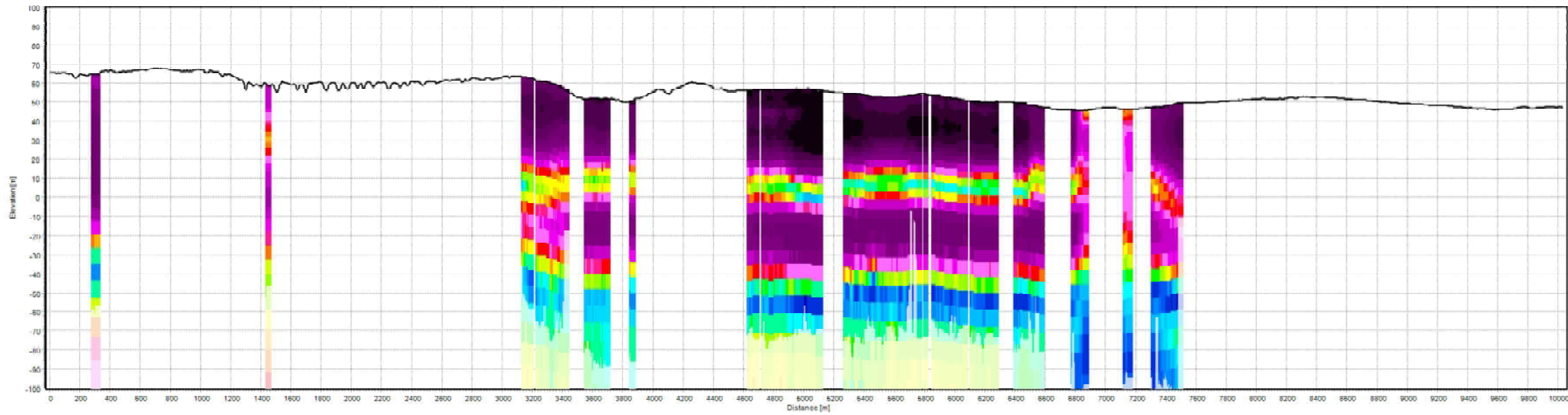
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

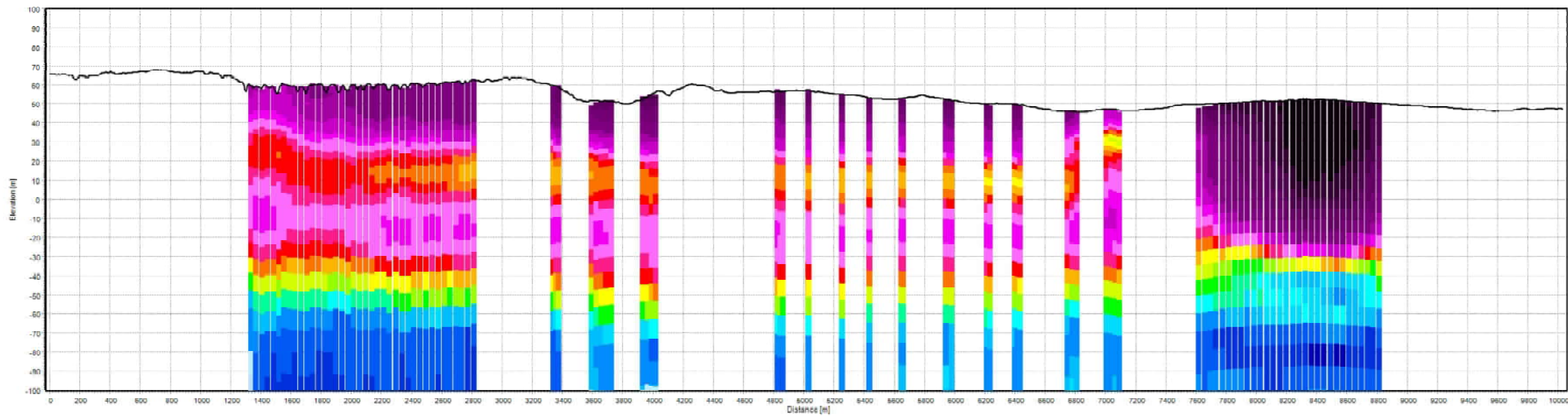
30-03-2023



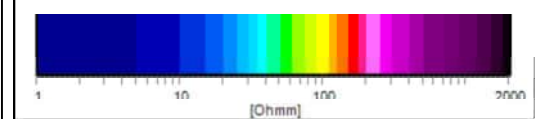
Profile SN 1, tTEM



Profile SN 1, SkyTEM



- Profile
- Collected data
- Used soundings



Project no. 22001822

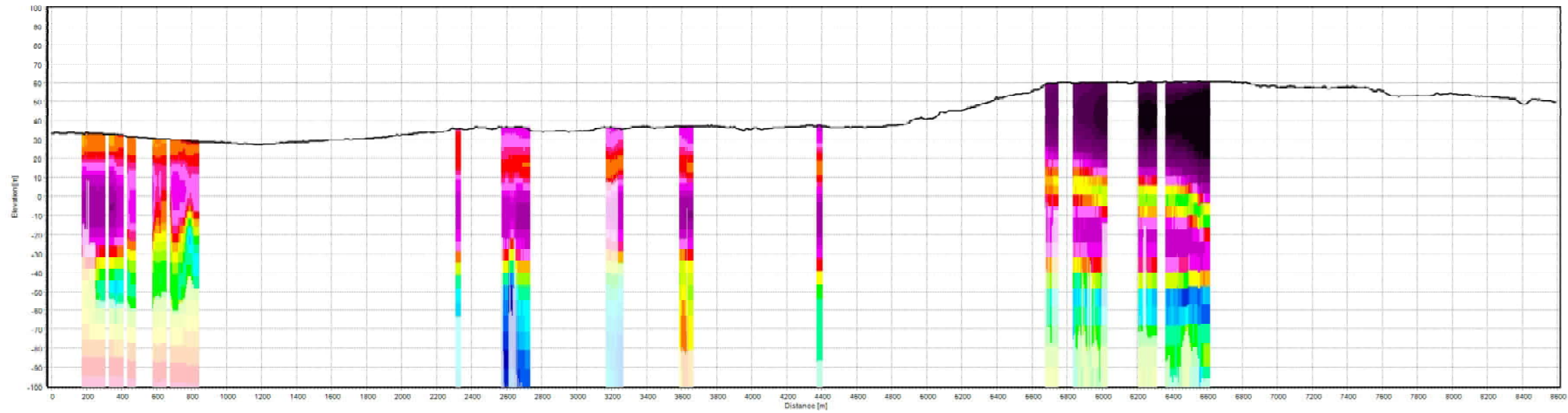
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

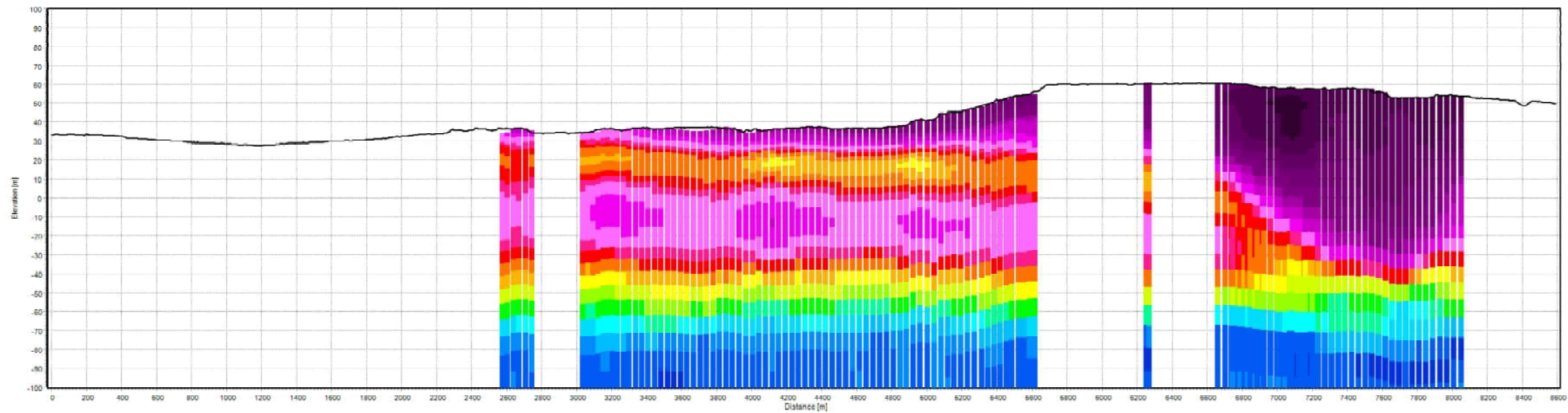
30-03-2023



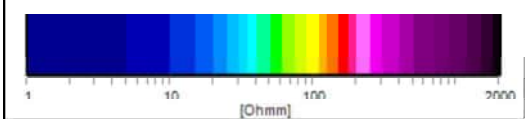
Profile SN 2, tTEM



Profile SN 2, SkyTEM



- Profile
- Collected data
- Used soundings



Project no. 22001822

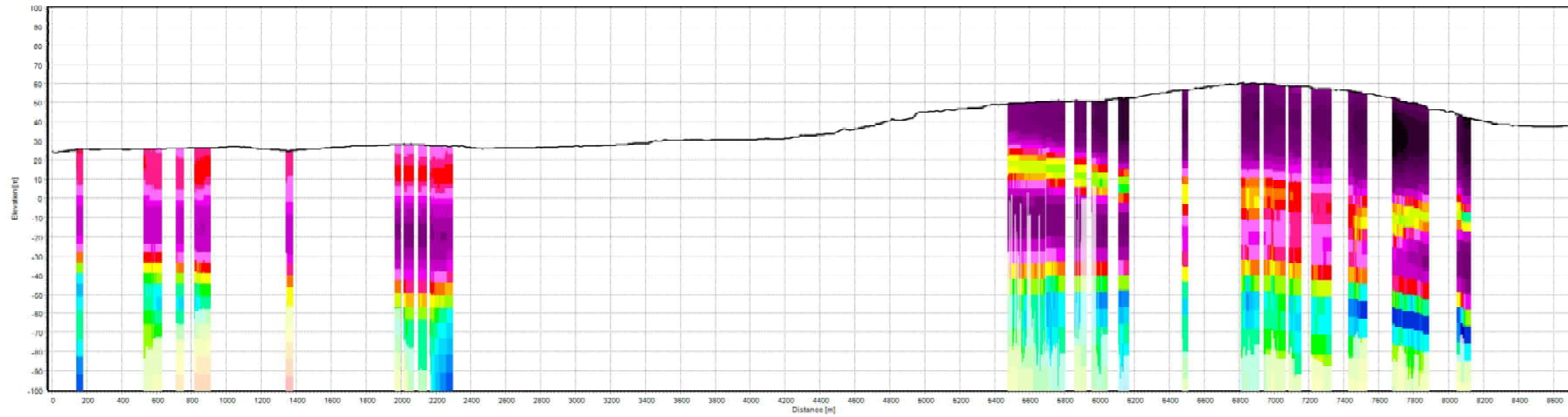
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

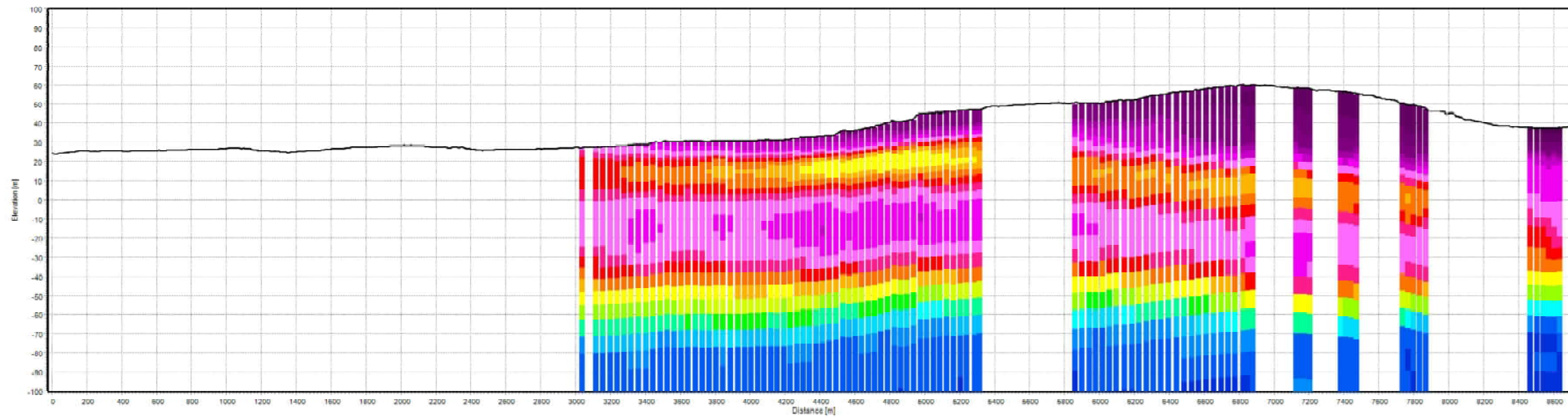
30-03-2023



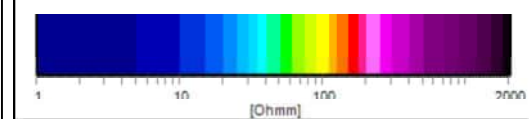
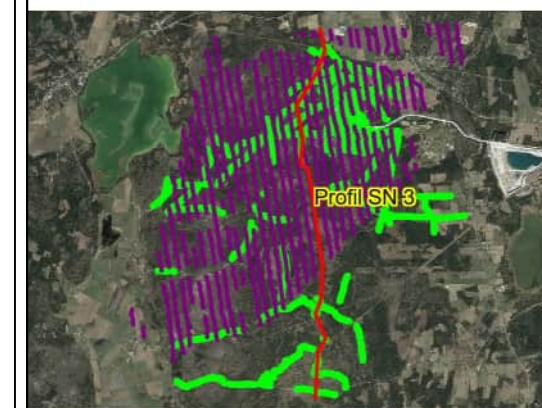
Profile SN 3, tTEM



Profile SN 3, SkyTEM



- Profile
- Collected data
- Used soundings



Project no. 22001822

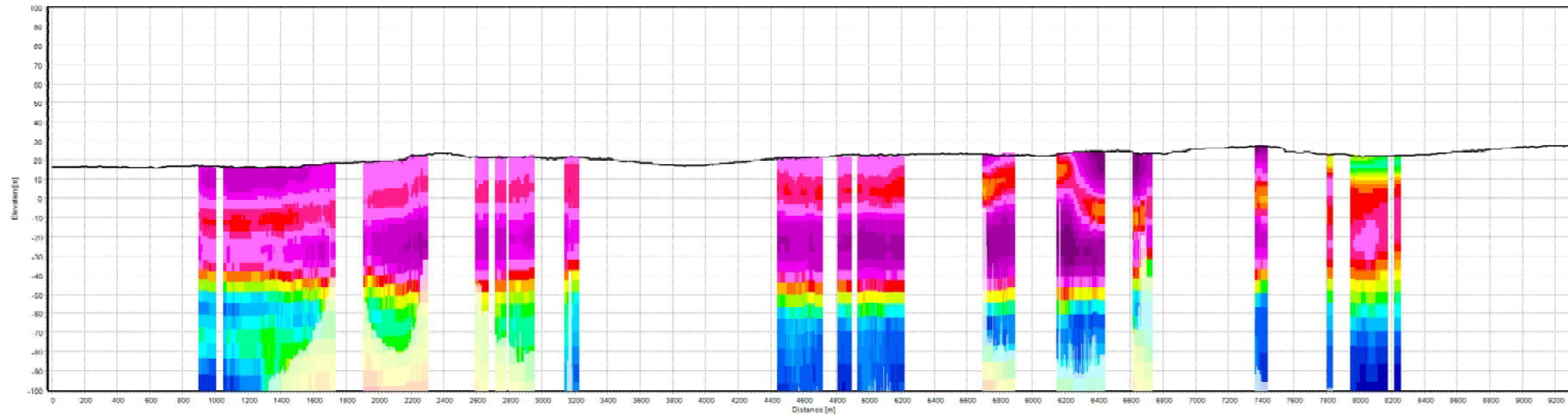
Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

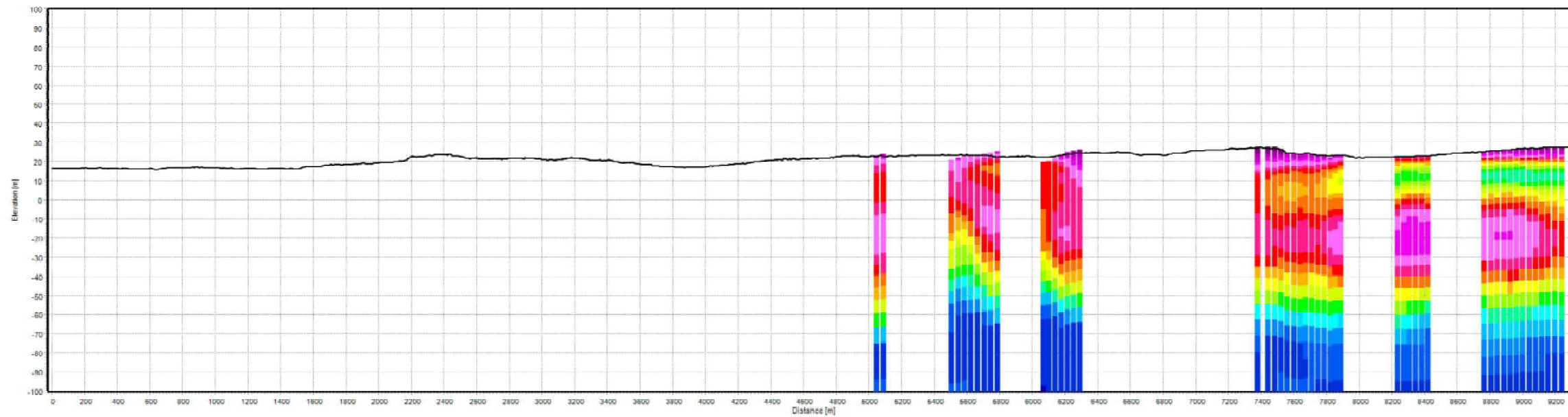
30-03-2023



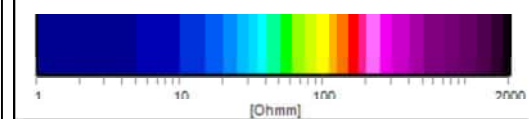
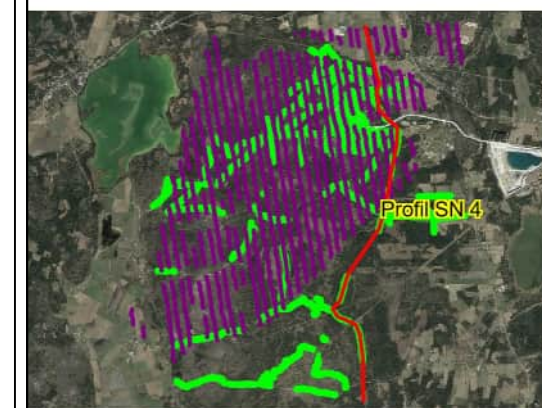
Profile SN 4, tTEM



Profile SN 4, SkyTEM



- Profile
- Collected data
- Used soundings



Project no. 22001822

Completed by Daniel Okholm/Johanne Jensen

QA Anders Edsen

30-03-2023



**BILAGA**

**D SYSTEMINSTÄLLNINGAR  
FÖR TTEM**







# INSTÄLLINGAR FÖR TTEM SYSTEM OCH PROCESSERING

## DATAINSAMLING

### SYSTEMGEOMETRI 2x4 system (TX\_07, RC20\_33)

ENH.	X (M)	Y (M)	Z (M)
GP_TX(GPS)	5.48	0.00	-1.20
RxZ (Z-receiver coil)	-9.19	0.00	-0.33
Tx (center transmitter coil)	0.00	0.00	-0.36
Loop corner 1	-02.00	-01.00	-0.36
Loop corner 2	02.00	-01.00	-0.36
Loop corner 3	02.00	01.00	-0.36
Loop corner 4	-02.00	01.00	-0.36

### SYSTEMPARAMETRAR 2x4 SYSTEM

PARAMETER	LM (CH 1)	HM (CH 2)
Number of turns	1	1
Transmitter area ( $m^2$ )	8 ( $m^2$ )	8 ( $m^2$ )
Tx Current	~3.0 A	~ 30.0 A
Tx Peak moment	~24 $Am^2$	~240 $Am^2$
Repetition frequency*	1055 Hz	315 Hz
Raw data stack size	422	252
Raw Moment cyclus time	474 $\mu s$	1587 $\mu s$
TX on-time	0.2 ms	0.45 ms
Duty cycle	42,2 %	28,3 %
Turn-off time	2.5 $\mu s$ at 3.0 Amp	4.0 $\mu s$ at 30 Amp
Number of gates	15	30
Gate time interval	4 $\mu s$ – 44 $\mu s$	10 $\mu s$ – 1000 $\mu s$
Front-gate time (nominal)	2 $\mu s$	5 $\mu s$
Front-gate delay	1.9 $\mu s$	1.9 $\mu s$

\*: Based on dual sign raw moment cyclus time (=2 x raw moment cyclus time)



## DATAPROCESSERING

### DATAPROCESSERING, LÅGMOMENT

PROCESSING SETTINGS	LM CH1 (2X4 SYSTEM)
Use 2nd order slope filters	ON
Sounding Bin Spacing [s]	2
Current time [s]	0.5
Cap Slope Filter	ON
Cap Sign from [s]	10e-6
Cap Slope noise level (ms)[v/m2]	5e-7
Cap Slope noise slope	-0.5
Cap Slope min slope	-0.7
Cap Slope max slope	0.7
Cap Slope back step	30
Ave STD Filter	ON
Ave STD from time	20e-6
Ave STD max	1.1
Trapez Filter	ON
Trapez Sounding distance [s]	2.5
Trapez Gate Time 1 [s]	1e-5
Trapez Gate Time 2 [s]	1e-4
Trapez Gate Time 3 [s]	1e-3
Trapez Width 1 [s]	2.5
Trapez Width 2 [s]	2.5
Trapez Width 3 [s]	2.5
Trapez 2 <sup>nd</sup> Tx min. Altitude [m]	999 (Dummy)
Trapez 2 <sup>nd</sup> Width 1 [s]	2.5
Trapez 2 <sup>nd</sup> Width 2 [s]	2.5
Trapez 2 <sup>nd</sup> Width 3 [s]	2.5
Trapez Spike Factor	20
Trapez Min No. Gates [%]	20
Trapez min No. Gates per. sound	1





## DATAPROCESSERING, HÖGMOMENT

PROCESSING SETTINGS	HM CH2 (2X4 SYSTEM)
Use 2nd order slope filters	ON
Sounding Bin Spacing [s]	2
Current time [s]	0.5
Cap Sign filter	ON
Cap Sign from time [s]	30e-6
Cap Sign noise level (ms)[v/m2]	5e-7
Cap Sign noise slope	-0.5
Cap Sign back step	30
Cap Slope Filter	ON
Cap Slope From time [s]	10e-6
Cap Slope noise level (ms)[v/m2]	2.5e-7
Cap Slope noise slope	-0.5
Cap Slope min slope	-0.8
Cap Slope max slope	0.8
Cap Slope back step	30
Ave Slope filter – Late times	ON
Ave Slope from times [s]	10e-6
Ave Slope min slope	-0.7
Ave Slope max slope	0.7
Ave Slope back step	2
Ave STD Filter	ON
Ave STD from time [s]	20e-6
Ave STD max	1.1
Trapez Filter	ON
Trapez Sounding distance [s]	2.5
Trapez Gate Time 1 [s]	1e-5
Trapez Gate Time 2 [s]	1e-4
Trapez Gate Time 3 [s]	1e-3
Trapez Width 1 [s]	2.5
Trapez Width 2 [s]	7.5
Trapez Width 3 [s]	20





PROCESSING SETTINGS, CONT.	HM CH2, (2X4 SYSTEM)
Trapez 2 <sup>nd</sup> Tx min. Altitude [m]	999 (Dummy)
Trapez 2 <sup>nd</sup> Width 1 [s]	2.5
Trapez 2 <sup>nd</sup> Width 2 [s]	7.5
Trapez 2 <sup>nd</sup> Width 3 [s]	20
Trapez Spike Factor	20
Trapez Min No. Gates [%]	20
Trapez min No. Gates per. sound	6